

Die Erfindung betrifft eine Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung (engl. flip tip type), die auf einem Saphirsubstrat ausgebildete Gruppe-III-Element-Nitrid-Schichten aufweist. Im speziellen betrifft die Erfindung eine Vorrichtung mit einer hohen Lichtstärke und einer niedrigen Ansteuerungsspannung.

Fig. 7 zeigt eine Schnittansicht eines bekannten Lichtabstrahlenden Halbleiters 400 nach Schwenkspitzenbauart. Die Bezugszeichen 101, 102, 103, 104, 105, 106, 120, 130 und 140 bezeichnen ein Saphirsubstrat, eine Pufferschicht aus AlN oder GaN, eine n-dotierte GaN-Schicht, eine Abstrahlungsschicht, eine p-dotierte AlGaIn-Schicht, eine p-dotierte GaN-Schicht, eine positive Elektrode, eine Schutzschicht und eine negative Elektrode mit einem Vielschichtaufbau. Dabei ist die mit der Schicht 106 verbundene dicke positive Elektrode 120 eine Metallschicht mit einer Dicke von 3000 Å (10 Å = 1 nm), die aus Metallen wie Nickel (Ni) oder Kobalt (Co) ausgebildet ist.

Zur wirksamen Reflexion des von einer Abstrahlungsschicht 104 abgestrahlten Lichtes zu einem Saphirsubstrat 101 hin wird üblicherweise eine dicke Metallelektrode als positive Schwenkspitzenelektrode 120 verwendet.

Es verbleibt jedoch ein Problem hinsichtlich der Lichtstärke. Bei der bekannten Vorrichtung wurden Metalle wie Nickel (Ni) oder Kobalt (Co) zur Ausbildung der dicken positiven Elektrode 120 verwendet. Deswegen war das Reflexionsvermögen für die sichtbaren (violetten, blauen und grünen) Strahlen, deren Wellenlängen im Bereich von 380 nm bis 550 nm liegen, unzureichend, und die Vorrichtung konnte keine adäquate Lichtstärke als Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung erzielen. Daher wurden weitere Verbesserungen erforderlich, wie sie vorliegend durch die Erfindung gewürdigt sind.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Lichtabstrahlende Halbleitervorrichtung mit einer hohen Lichtstärke und einer niedrigen Ansteuerspannung anzugeben.

Weiterhin wird eine Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung angegeben, deren Elektrode ein hohes Reflexionsvermögen und eine hohe Zuverlässigkeit aufweist, und bei der der Aufbau der Elektroden vereinfacht ist.

Die vorliegende Aufgabe wird gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung durch eine Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung unter Verwendung eines durch Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiterschichten gebildeten Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiters gelöst, der auf einem Substrat und einer positiven Elektrode unter Beinhaltung von zumindest einer Schicht einer ersten positiven Elektrodenschicht ausgebildet ist, die mit einer p-dotierten Halbleiterschicht elektrisch verbunden ist und Licht zu dem Substrat hin reflektiert. Die positive Elektrode weist zumindest Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt) oder Palladium (Pd) oder eine zumindest eines dieser Metalle enthaltende Legierung auf. Die Dicke der positiven Elektrode sollte vorzugsweise im Bereich von 100 Å bis 5 µm liegen.

Zweitens wird erfindungsgemäß ein Vielschichtaufbau aus einer Vielzahl von Metallarten bei der vorstehend beschriebenen Elektrode ausgebildet. Wenn die auf oder über, d. h. vergleichsweise nahe der an der p-dotierten Halbleiterschicht ausgebildete erste positive Elektrode aus Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ausgebildet ist, kommt die Wirkung der Erfindung zum Tragen. Nahezu alle der die erste positive Elektrodenschicht enthaltenden Unterschichten, die im Be-

reich von 1000 Å unter der positiven Elektrode angeordnet sind, sollten bevorzugt ebenfalls aus den vorstehend beschriebenen Metallen ausgebildet sein.

Drittens wird erfindungsgemäß eine erste Dünnschicht-Metallschicht aus zumindest Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht und der ersten positiven Elektrodenschicht ausgebildet.

Viertens wird erfindungsgemäß die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht im Bereich von 2 Å bis 200 Å definiert. Die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 5 Å bis 50 Å liegen.

Fünftens wird erfindungsgemäß eine zweite Dünnschicht-Metallschicht aus zumindest Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung zwischen der ersten Dünnschicht-Metallschicht und der ersten positiven Elektrodenschicht ausgebildet.

Sechstens wird erfindungsgemäß die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht im Bereich von 10 Å bis 500 Å ausgebildet. Die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 30 Å bis 300 Å liegen.

Siebtens wird erfindungsgemäß die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht im Bereich von 0,01 µm bis 5 µm definiert. Die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 0,05 µm bis 1 µm liegen.

Achtens wird erfindungsgemäß eine zweite positive Elektrodenschicht zumindest aus Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung auf der ersten positiven Elektrodenschicht ausgebildet.

Neuntens wird erfindungsgemäß die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht im Bereich von 0,03 µm bis 5 µm definiert. Die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 0,05 µm bis 3 µm liegen, bevorzugter im Bereich von 0,5 µm bis 2 µm.

Zehntens wird erfindungsgemäß eine dritte positive Elektrodenschicht aus zumindest Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung auf der ersten positiven Elektrodenschicht oder der zweiten positiven Elektrodenschicht ausgebildet.

Elftens wird erfindungsgemäß die Dicke der dritten positiven Elektrodenmetallschicht im Bereich von 3 Å bis 1000 Å definiert. Die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 3 Å bis 1000 Å bzw. 10 Å bis 500 Å und noch bevorzugter im Bereich von 15 Å bis 100 Å bzw. 5 Å bis 500 Å liegen.

Zwölftens wird erfindungsgemäß die erste positive Elektrodenschicht aus zumindest Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung auf der p-dotierten Halbleiterschicht ausgebildet.

Dreizehntens weist erfindungsgemäß die positive Elektrode einen Vielschichtaufbau mit den nachstehenden drei Schichten auf: eine erste positive Elektrodenschicht aus zumindest Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung; eine zweite positive Elektrodenschicht aus zumindest Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung, die unmittelbar auf der ersten positiven Elektrodenschicht ausgebildet ist; und eine dritte positive Elektrodenschicht aus zumindest Titan (Ti), Chrom (Cr), oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierungen, die unmittelbar auf der zweiten positiven Elektrodenschicht ausgebildet ist. Die erste positive Elektrodenschicht ist unmittelbar mit der p-dotierten Halbleiterschicht verbunden.

Vierzehntens werden erfindungsgemäß die Dicken der ersten, zweiten und der dritten positiven Elektrodenschichten im Bereich von 0,02 µm bis 2 µm, bzw. 0,05 µm bis 3 µm,

bzw. 5 Å bis 500 Å definiert.

Fünfzehntens wird erfindungsgemäß eine Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit einem Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiter angegeben, der durch auf einem Substrat ausgebildete Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiterschichten und einer zumindest eine Schicht einer auf oder über einer p-dotierten Halbleiterschicht ausgebildeten ersten positiven Elektroden-schicht enthaltenden und Licht zu dem Substrat hin reflektierenden positiven Elektrode gebildet ist. Die positive Elektrode weist einen Dreischichtaufbau auf, gebildet durch eine erste positive Elektrodenschicht aus zumindest Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung, eine unmittelbar auf der ersten positiven Elektrodenschicht ausgebildete zweite positive Elektrodenschicht aus Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung und eine unmittelbar auf der zweiten Elektrodenschicht ausgebildete dritte positive Elektrodenschicht zumindest aus Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung.

Sechzehntens wird erfindungsgemäß eine vierte positive Elektrodenschicht aus zumindest Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung unmittelbar auf der dritten positiven Elektroden-schicht ausgebildet.

Siebzehntens wird erfindungsgemäß eine isolierende Schutzschicht aus zumindest Siliziumoxid (SiO_2), Silizium-nitrid (Si_3N_4), einer Titanverbindung (Ti_xN_y , usw.) oder Polyamid unmittelbar auf den dritten und vierten positiven Elektroden-schichten ausgebildet.

Da jedes der Elemente Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt) und Palladium (Pd) ein großes Reflexionsvermögen R ($0,6 < R < 1,0$) im Hinblick auf sichtbare (violette, blaue und grüne) Strahlen aufweist, deren Wellenlänge im Bereich von 380 nm bis 550 nm liegt, verbessert die Verwendung eines dieser Metalle oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung zur Ausbildung der ersten positiven Elektrodenschicht das Reflexionsvermögen der positiven Elektrode. Demzufolge kann die erfindungsgemäße Vorrichtung eine hinreichende Lichtstärke als Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung erzielen.

Fig. 6 zeigt eine Tabelle zur Veranschaulichung der Eigenschaften der bei der ersten positiven Elektrodenschicht verwendeten Metalle. Einzelheiten der Auflistung sind bei den nachstehend aufgeführten Ausführungsbeispielen beschrieben. Eine von den in Fig. 6 gezeigten vielfältigen Bewertungen ausgehende Beurteilung ergibt, daß die fünf Metallarten, d. h. Rhodium (Rh), Platin (Pt), Ruthenium (Ru), Silber (Ag) und Palladium (Pd) nachweislich zur Ausbildung der ersten positiven Elektrodenschicht die Besten sind.

Da diese fünf Metalle eine hohe Austrittsarbeit aufweisen, ist der Kontaktwiderstand zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht und Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) und einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung gering. Das bedeutet, daß durch die Verwendung dieser Metalle eine Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung mit einer niedrigen Anstevenspannung bereitgestellt werden kann.

Da diese Metalle außerdem Edelmetalle oder Metalle der Platingruppe sind, wird beispielsweise die Altersdegenerierung der Korrosionsbeständigkeit gegen Feuchtigkeit verbessert, und es kann durch die Verwendung dieser Metalle eine hochqualitative Elektrode bereitgestellt werden.

Obwohl Rhodium (Ph) hinsichtlich des Reflexionsvermögens etwas schlechter als Silber (Ag) ist, weist es im Vergleich zu anderen Metallen bei anderen Eigenschaften die gleichen oder überlegene Eigenschaften auf. Daher ist Rho-

dium (Ph) zur Ausbildung der ersten positiven Elektroden-schicht nachweislich eines der besten Metalle.

Außerdem weist Ruthenium (Ru) ähnliche oder fast gleiche Eigenschaften wie Rhodium (Rh) auf. Folglich ist es zur Ausbildung der ersten positiven Elektrodenschicht nachweislich auch eines der besten Metalle.

Durch die Ausbildung der ersten Dünnschicht-Metall-schicht wird die Haftung zwischen der ersten positiven Elektrodenschicht und der p-dotierten Halbleiterschicht verbessert, und es kann eine Licht-abstrahlende Vorrichtung mit einem haltbareren Aufbau bereitgestellt werden. Die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 2 Å bis 200 Å liegen. Wenn die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht weniger als 2 Å beträgt, kann keine dauerhafte Haftung erzielt werden, und wenn sie über 200 Å liegt, wird das Lichtreflexionsvermögen der die dicke erste positive Elektrodenschicht ausbildenden Elemente Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) und einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung unzureichend.

Weiterhin wird durch die Ausbildung der zweiten Dünnschicht-Metallschicht die Haftung zwischen der ersten positiven Elektrodenschicht und der p-dotierten Halbleiterschicht verbessert, und es kann eine Lichtabstrahlende Halbleitervorrichtung mit einem noch dauerhafteren Aufbau bereitgestellt werden. Die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 10 Å bis 500 Å liegen. Wenn die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht weniger als 10 Å beträgt, kann keine dauerhafte Haftung erzielt werden, und wenn sie über 500 Å liegt, wird das Lichtreflexionsvermögen der die erste positive Elektrodenschicht ausbildenden Elemente Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) und einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung unzureichend.

Die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht liegt im Bereich von 0,01 µm bis 5 µm. Wenn die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht geringer als 0,01 µm ist, durchdringt abgestrahltes Licht die Schicht, ohne reflektiert zu werden, und wenn die Dicke über 5 µm beträgt, ist zuviel Zeit zur Ausbildung erforderlich, was für die Massenproduktion unvorteilhaft ist.

Durch die Ausbildung der zweiten positiven Elektroden-schicht kann die positive Elektrode bereitgestellt werden, ohne den Widerstand der dicken positiven Elektrode zu erhöhen. Damit bei der Ausbildung eines Zuleitungswerkstoffes, einer Goldkugel oder einer Drahtverbindung eine durch Erwärmung und Abkühlung verursachte widrige Wirkung vermieden wird, sollte die Dicke der positiven Elektrode vorzugsweise mehr als 0,1 µm betragen. Da Gold (Au) ein leicht auszubildender Werkstoff ist und eine überlegene Korrosionsbeständigkeit aufweist, und da es eine starke Haftung gegenüber einem Zuleitungswerkstoff, einer Goldkugel oder einer Drahtverbindung aufweist, ist die Verwendung von Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung zur Ausbildung der zweiten positiven Elektroden-schicht zu bevorzugen.

Die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht sollte vorzugsweise im Bereich von 0,03 µm bis 5 µm liegen. Wenn die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht weniger als 0,03 µm beträgt, kann keine hinreichende Wirkung erzielt werden, und wenn sie über 5 µm liegt, ist zuviel Zeit zur Ausbildung der Elektroden erforderlich.

Wenn außerdem die Dicke der zweiten positiven Elektroden-schicht mehr als 5 µm beträgt, wird die Dicke der negativen Elektrode unnötigerweise für die Ausbildung einer Zuleitung oder einer Goldkugel dicker, was unerwünscht ist, wie es bei dem nachstehenden dritten Ausführungsbeispiel

beschrieben ist.

Durch die Ausbildung der dritten positiven Elektroden-schicht (im Falle der sechzehnten erfindungsgemäßen Aus-gestaltung die vierte positive Elektroden-schicht) aus zumi-ndest Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines die-ser Metalle enthaltenden Legierung kann, wenn eine isolie-rende Schicht aus beispielsweise Siliziumoxid (SiO_2), Sili-ziumnitrid (Si_3N_4) oder Polyamid zwischen die auf gegen-überliegenden Seiten des Substrats ausgebildeten positiven und negativen Elektroden ausgebildet wird, ein Abblättern der isolierenden Schicht von den positiven Elektroden ver-hindert werden. Demzufolge kann die dritte positive Elek-troden-schicht ein Kurzschließen durch einen Zuleitungs-werkstoff während der Ausbildung einer Zuleitung verhin-dern. Die Dicke der dritten positiven Elektroden-schicht sollte vorzugsweise im Bereich von 3 Å bis 1000 Å liegen. Wenn die Dicke der dritten positiven Elektroden-schicht we-niger als 3 Å beträgt, kann keine dauerhafte Haftung an die isolierende Schicht erzielt werden, und wenn sie über 1000 Å beträgt, kann keine dauerhafte Haftung an die Kon-taktwerkstoffe wie einem Zuleitungswerkstoff oder einer Goldkugel erzielt werden, was unerwünscht ist.

Da die positive Elektrode mit dem wie vorstehend be-schriebenen Vielschichtaufbau ein hohes Reflexionsvermö-gen und eine große Beständigkeit gegen Feuchtigkeit auf-weist, kann die Schutzschicht teilweise vereinfacht werden. Daher kann die positive Elektrode an eine externe Elektrode ohne die Verwendung einer Drahtverbindung angeschlossen werden.

Der Schwenkspiztentyp einer Licht-abstrahlenden Halb-leitervorrichtung gemäß der fünfzehnten Ausgestaltung der Erfindung unterscheidet sich von denen gemäß der drei-zehnten und der vierzehnten Ausgestaltung der Erfindung hinsichtlich der Bestandteile der zweiten und dritten posi-tiven Elektroden-schichten. Die Halbleitervorrichtung gemäß der fünfzehnten Ausgestaltung kann die gleiche Wirkung wie die gemäß der dreizehnten und vierzehnten Ausgestal-tung gezeigte bereitstellen.

Nachstehend wird die Erfindung anhand von Ausführ-ungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigelegte Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 100 gemäß dem er-sten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 2 eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 200 gemäß dem zwei-ten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 3 eine Tabelle zum Vergleich des Verhaltens der Lichtabstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtungen 100, 200 und 400 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 4 eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 300 gemäß dem drit-ten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 5A eine Tabelle zum Vergleich der Lichtstärken der vorstehend beschriebenen Licht-abstrahlenden Halbleiter-vorrichtung 300 und der bekannten Lichtabstrahlenden Halbleitervorrichtung 400 gemäß dem dritten Ausführungs-beispiel der Erfindung;

Fig. 5B eine Tabelle zum Vergleich der alterungsbeding-ten Schwankungen der Lichtstärken der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 500 und der bekannten Lichtabstrah-lenden Halbleitervorrichtung 400;

Fig. 6 eine Tabelle der Eigenschaften von für die erste po-sitive Elektroden-schicht verwendeten Metallen gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 7 eine Schnittansicht einer bekannten Lichtabstrah-lenden Halbleitervorrichtung 400;

Fig. 8 eine Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Lichtabstrahlenden Halbleitervorrichtung 150;

Fig. 9 eine Draufsicht einer Licht-abstrahlenden Halblei-tervorrichtung 500 gemäß einem Ausführungsbeispiel der in Fig. 4 gezeigten Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 300; und

Fig. 10 eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 600 gemäß dem fünf-ten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Erstes Ausführungsbeispiel

Fig. 1 zeigt eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 100. Die Halbleiter-vorrichtung 100 weist ein Saphirsubstrat 101 auf, auf dem aufeinanderfolgend eine Pufferschicht 102 aus Nitridalumi-nium (AlN) mit einer Dicke von 200 Å und eine n⁺-dotierte Schicht 103 mit einer Dicke von 4,0 µm und einer hohen La-dungsträgerkonzentration ausgebildet sind.

Zudem ist auf der n⁺-dotierten Schicht 103 eine mit einer Mehrfachquantentopfstruktur (MQW) aus GaN und $\text{Ga}_{0,8}\text{In}_{0,2}\text{N}$ aufgebaute Abstrahlungsschicht 104 ausgebil-det. Eine Mg-dotierte p-Schicht 105 aus $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$ mit einer Dicke aus 600 Å ist auf der Abstrahlungsschicht 104 ausgebildet. Weiterhin ist eine Mg-dotierte p-Schicht 106 aus GaN mit einer Dicke von 1500 Å auf der p-Schicht 105 ausgebildet.

Eine erste Dünnschicht-Metallschicht 111 wird durch eine Metallabscheidung auf der p-Schicht 106 ausgebildet und eine negative Elektrode 140 wird auf der n⁺-dotierten Schicht 103 ausgebildet. Die erste Dünnschicht-Metall-schicht 111 ist zumindest aus Kobalt (Co) und Nickel (Ni) mit einer Dicke von etwa 10 Å ausgebildet und ist benach-bart zu der p-Schicht 106 angeordnet. Eine positive Elek-trode (erste positive Elektroden-schicht) 120 ist zumindest aus Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) oder einer zumindest eines dieser Elemente enthaltenden Legierung mit einer Dicke von etwa 3000 Å ausgebildet.

Die negative Elektrode 140 mit einem Vielschichtaufbau wird auf einem freigelegten Abschnitt der n⁺-dotierten Schicht 103 mit der hohen Ladungsträgerkonzentration aus-gebildet. Der Vielschichtaufbau weist die nachstehenden fünf Schichten auf: eine etwa 175 Å dicke Vanadiumschicht 141 (V); eine etwa 1000 Å dicke Aluminiumschicht 142 (Al); eine etwa 500 Å dicke Vanadiumschicht 143 (V); eine etwa 5000 Å dicke Nickelschicht 144 (Ni); und eine etwa 8000 Å dicke Goldschicht 145 (Au). Eine Schutzschicht 130 aus SiO_2 wird auf der oberen Oberfläche ausgebildet.

Wie vorstehend beschrieben, wird die Lichtstärke um etwa 10-50% im Vergleich zu der unter den Nr. 1 und 2 in Fig. 3 gezeigten bekannten Licht-abstrahlenden Halbleiter-vorrichtung 400 verbessert, wenn die positive Elektrode 120 aus zumindest Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pa) und einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ausgebildet ist.

Zweites Ausführungsbeispiel

Fig. 2 zeigt eine Schnittansicht einer erfindungsgemäßen Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 200. Die Halbleitervorrichtung 200 unterscheidet sich von der bei dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen ledig-lich durch die Ausbildung einer zweiten Dünnschicht-Metall-schicht 112 auf der ersten Dünnschicht-Metallschicht 111. Die zweite Dünnschicht-Metallschicht 112 ist mit einer Dicke von etwa 150 Å aus Gold ausgebildet, wobei sie durch eine Metallabscheidung nach Ausbildung der ersten

Dünnschicht-Metallschicht 111 ausgebildet ist, und zwar auf die gleiche Weise, wie die erste Dünnschicht-Metallschicht 111 aus Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) mit einer Dicke von 10 Å ausgebildet wurde.

Die Ausbildung dieser zweiten Dünnschicht-Metallschicht 112 zwischen der ersten Dünnschicht-Metallschicht 111 und der positiven Elektrode (erste positive Elektroden-schicht) 120 ermöglicht eine dauerhaftere Verbindung der positiven Elektrode 120 mit der Schicht 106.

Fig. 3 zeigt eine Tabelle zum Vergleich des Verhaltens der Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtungen 100, 150, 200 bzw. 400. Die Tabelle der Fig. 3 zeigt außerdem das Verhalten einer in Fig. 8 gezeigten Lichtabstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung (Nr. 3 oder 3.1), die eine positive Elektrode 120 aus zumindest Silber (Ag) oder Rhodium (Rh) aufweist und unmittelbar mit der p-Schicht 106 ohne die erste Dünnschicht 111 des ersten Ausführungsbeispiels verbunden ist.

Wie in dieser Tabelle gezeigt ist, wird die Lichtstärke der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung 100 oder 200, welche die positive Elektrode 120 aus Metallschichten mit zumindest Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pa) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung aufweisen, um etwa 10–50% im Vergleich zu der unter den Nr. 1 und 2 in Fig. 3 gezeigten bekannten Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 400 verbessert.

Zudem wird hinsichtlich der unter den Nr. 1 und 2 gezeigten Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 400 keine erste Dünnschicht-Metallschicht ausgebildet, da die positive Elektrode 120 selbst aus Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) ausgebildet ist, was eine hinreichende Anhaftung zwischen der positiven Elektrode 120 und der Schicht 106 sicherstellt. Die unter den Nr. 1 und 2 in Fig. 3 gezeigte Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 400, welche die positive Elektrode 120 aus Kobalt (Co) oder (Ni) enthält, weist einen niedrigen relativen Lichtstärke auf, da das Reflexionsvermögen der die positive Elektrode 120 bildenden Metallelemente gering ist. Demzufolge beruht die Überlegenheit oder Unterlegenheit der in Fig. 3 gezeigten relativen Lichtstärken nicht auf der Existenz der ersten Dünnschicht-Metallschicht 111.

Es kann im Gegenteil für den Fall, daß die erste oder die zweite Dünnschicht-Metallschicht 111 bzw. 112 nicht existiert, eine große Lichtstärke erzielt werden, wenn die positive Elektrode 120 zumindest Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) oder eine zumindest eines dieser Metalle enthaltende Legierung aufweist, wie aus einem Vergleich der Nr. 3 mit den Nr. 4 und 8 aus Fig. 3 ersichtlich ist. Die Lichtstärke zeigt einen ausgezeichneten Wert, obwohl die Haftung zwischen der positiven Elektrode 120 und der Schicht 106 bis zu einem gewissen Grad geringer ist. Dies liegt an den fehlenden ersten und zweiten Dünnschicht-Metallschichten 111 bzw. 112, welche Licht absorbieren.

Wie in Fig. 8 gezeigt ist, kann insbesondere die Lichtabstrahlende Halbleitervorrichtung 150 etwa die gleiche Lichtstärke wie die unter Nr. 8 aufgeführte Lichtabstrahlende Halbleitervorrichtung aufweisen, wenn bei der Lichtabstrahlenden Halbleitervorrichtung 150 die positive Schicht 120 aus Rhodium (Rh) etwa 3000 Å dick unmittelbar auf eine p-dotierte GaN-Schicht 106 ohne eine Ausbildung der ersten oder zweiten Dünnschicht-Metallschicht ausgebildet wird, wobei die Eigenschaften der Halbleitervorrichtung 150 unter Nr. 3.1 in Fig. 3 aufgeführt sind. Außerdem kann dabei weiterhin eine gleiche oder dauerhaftere Haftung an die GaN-Schicht erreicht werden. Diese Umstände werden bei der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 150

durch ein hohes Reflexionsvermögen von Rhodium (Rh) und eine feste Anhaftung von Rhodium (Rh) an die GaN-Schicht 106 verursacht. Demzufolge ist die unter Nr. 3.1 angeführte Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 150 der unter Nr. 5 in Fig. 3 angeführten Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 100 in diesen Punkten überlegen.

Kurz gesagt, die Herstellung einer Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 150 gemäß Nr. 3.1 aus Fig. 3 bedeutet, in der Lage zu sein, eine Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung mit hinreichenden Eigenschaften hinsichtlich der Lichtstärke und Haftung bereit zu stellen, da die Eigenschaften von Rhodium (Rh) eine Ausbildung ohne die erste oder zweite Dünnschicht-Metallschicht erlauben. Weil für die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 150 ein Ausbildungsvorgang für die erste oder zweite Dünnschicht-Metallschicht nicht erforderlich ist, kann daher eine hinreichende Massenproduktivität verwirklicht werden.

Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die in den Fig. 1, 2 und 8 gezeigte positive Elektrode 120 eine Dicke von etwa 3000 Å auf. Optional kann die Dicke der Elektrode im Bereich von 100 Å bis 5 µm liegen. Wenn die Dicke der positiven Elektrode 120 weniger als 100 Å beträgt, wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend. Beträgt die Dicke mehr als 5 µm, ist zuviel Zeit und Material für die Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist.

Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die erste Dünnschicht-Metallschicht 111 eine Dicke von etwa 10 Å auf. Optional kann die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht 111 im Bereich von 2 Å bis 200 Å liegen. Die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht 111 sollte bevorzugter im Bereich von 5 Å bis 50 Å liegen. Ist die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallschicht 111 zu gering, wird die Bindungswirkung der positiven Elektrode 120 an die GaN-Schicht 106 geschwächt, ist sie zu groß, tritt eine Lichtabsorption in ihr auf und die Lichtstärke wird vermindert.

Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die zweite Dünnschicht-Metallschicht 112 eine Dicke von etwa 150 Å auf. Optional kann die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht 112 im Bereich von 10 Å bis 500 Å liegen. Die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht 112 sollte bevorzugter im Bereich von 30 Å bis 300 Å liegen. Wenn die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht 112 zu gering ist, wird die Bindung der positiven Elektrode 120 an die erste Dünnschicht-Metallschicht 111 geschwächt, und wenn sie zu groß ist, tritt eine Lichtabsorption in ihr auf und die Lichtstärke wird vermindert.

Bei diesem Ausführungsbeispiel weist die positive Elektrode 120 einen Einzelschichtaufbau auf. Optional kann die positive Elektrode 120 einen Vielschichtaufbau aufweisen. Die 1,4 µm dicke positive Elektrode kann durch aufeinanderfolgende Abscheidung von beispielsweise etwa 5000 Å Silber (Ag), etwa 800 Å Nickel (Ni) und 8000 Å Gold (Au) auf die GaN-Schicht 106, die erste Dünnschicht-Metallschicht 111 oder die zweite Dünnschicht-Metallschicht 112 ausgebildet werden. Durch eine positive Elektrode mit diesem Vielschichtaufbau kann eine Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung mit hinreichend hohem Reflexionsvermögen und hinreichend hoher Strahlungsleistung erzielt werden.

Drittes Ausführungsbeispiel

Fig. 4 zeigt eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 300. Die Halbleitervorrichtung weist ein Saphirsubstrat 101 auf, auf dem aufeinanderfolgend eine Pufferschicht 102 aus Nitridaluminium (AlN) mit einer Dicke von 200 Å und eine n-dotierte

Schicht 103 mit einer Dicke von 4,0 μm und einer hohen Ladungsträgerkonzentration ausgebildet sind.

Zudem ist eine Abstrahlungsschicht 104 mit einer Mehrfachquantentopfstruktur (MQW) aus GaN und $\text{Ga}_{0,9}\text{In}_{0,1}\text{N}$ auf der n⁺-dotierten Schicht 103 ausgebildet. Eine Mg-dotierte p-Schicht 105 aus $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{N}$ mit einer Dicke von 600 Å ist auf der Abstrahlungsschicht 104 ausgebildet. Weiterhin ist eine Mg-dotierte p-Schicht 106 aus GaN mit einer Dicke von 1500 Å auf der p-Schicht 105 ausgebildet.

Eine positive Elektrode 120, die nachstehend auch als positive Mehrfachelektrode 120 bezeichnet werden kann, ist durch ein Metallabscheidungsverfahren auf der p-Schicht 106 ausgebildet, und eine negative Elektrode 140 ist auf der n⁺-dotierten Schicht 103 ausgebildet. Die positive Mehrfachelektrode 120 ist in einem Dreischichtaufbau mit einer zu der p-Schicht 106 benachbarten ersten positiven Elektrodensschicht 121, einer auf der ersten positiven Elektrodensschicht 121 ausgebildeten zweiten positiven Elektrodensschicht 122 und einer auf der zweiten positiven Elektrodensschicht 122 ausgebildeten dritten positiven Elektrodensschicht 123 ausgebildet.

Die erste positive Elektrodensschicht 121 ist eine zu der p-Schicht 106 benachbarte Metallschicht, die aus Rhodium (Rh) mit einer Dicke von etwa 0,1 μm ausgebildet ist. Die zweite positive Elektrodensschicht 122 ist eine Metallschicht aus Gold (Au) mit einer Dicke von etwa 1,2 μm . Die dritte positive Elektrodensschicht 123 ist eine Metallschicht aus Titan (Ti) mit einer Dicke von etwa 20 Å.

Eine negative Elektrode 140 mit einem Vielschichtaufbau ist auf einem freigelegten Abschnitt der n⁺-dotierten Schicht 103 mit der hohen Ladungsträgerkonzentration ausgebildet. Der Vielschichtaufbau weist die nachstehenden fünf Schichten auf: eine etwa 175 Å dicke Vanadiumschicht 141 (V); eine etwa 1000 Å dicke Aluminiumschicht 142 (Al); eine etwa 500 Å dicke Vanadiumschicht 143 (V); eine etwa 5000 Å dicke Nickelschicht 144 (Ni); und eine etwa 8000 Å dicke Goldschicht 145 (Au).

Eine Schutzschicht 130 aus einer SiO_2 -Schicht ist zwischen der positiven Mehrfachelektrode 120 und der negativen Elektrode 140 ausgebildet. Die Schutzschicht 130 bedeckt einen Abschnitt der zur Ausbildung der negativen Elektrode 140 freigelegten n⁺-dotierten Schicht 103, die Seiten der Abstrahlungsschicht 104, der p-Schicht 105 und der durch Ätzen freigelegten p-Schicht 106, einen Abschnitt der oberen Oberfläche der p-Schicht 106, die Seiten der ersten positiven Elektrodensschicht 121, der zweiten positiven Elektrodensschicht 122 und der dritten positiven Elektrodensschicht 123, und einen Abschnitt einer oberen Oberfläche der dritten positiven Elektrodensschicht 123. Die Dicke der einen Abschnitt der oberen Oberfläche der dritten positiven Elektrodensschicht 123 bedeckenden Schutzschicht 130 beträgt 0,5 μm .

Fig. 5A zeigt eine Tabelle zum Vergleich der Lichtstärken der vorstehend beschriebenen Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung mit denen der bekannten Lichtabstrahlenden Halbleitervorrichtung 400. Wie in Fig. 5A gezeigt, kann die Strahlungsleistung erfindungsgemäß um etwa 30–40% im Vergleich zum Stand der Technik verbessert werden.

Da der Aufbau der Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 300 ihr eine hohe Lichtstärke und Zuverlässigkeit ermöglicht, kann die Schutzschicht 130 auf einer beträchtlichen Fläche weggelassen werden, und sowohl die positive als auch die negative Elektrode können eine ausgedehntere Fläche für einen Anschluß an eine externe Elektrode verwenden. Durch eine unmittelbare Ausbildung einer Zuleitung durch ein Lötmetall oder einer Goldkugel auf die positive und die negative Elektrode wird die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 300 invertiert und kann

unmittelbar an eine Schaltungsplatine angeschlossen werden.

Zudem kann die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 300 auch mit einer externen Elektrode durch eine Drahtverbindung verbunden werden.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel weist die positive Mehrfachelektrode 120 eine Dicke von etwa 1,3 μm auf. Optional kann die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 im Bereich von 0,11 μm bis 10 μm liegen. Liegt die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 unter 0,11 μm , wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend, und es kann keine dauerhafte Haftung an Verbindungswerkstoffe wie einer Zuleitung, einer Goldkugel usw. erreicht werden. Liegt jedoch die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 über 10 μm , ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel weist die erste positive Elektrodensschicht 121 eine Dicke von etwa 0,1 μm auf. Optional kann die Dicke der ersten positiven Elektrodensschicht 121 im Bereich von 0,01 μm bis 5 μm liegen. Die Dicke der ersten positiven Elektrodensschicht 121 sollte bevorzugt im Bereich von 0,05 μm bis 1 μm liegen. Beträgt die Dicke der ersten positiven Elektrodensschicht 121 zu wenig, wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend, beträgt sie jedoch zu viel, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel weist die zweite positive Elektrodensschicht 122 eine Dicke von etwa 1,2 μm auf. Optional kann die Dicke der zweiten positiven Elektrodensschicht 122 im Bereich von 0,03 μm bis 5 μm liegen. Die Dicke der zweiten positiven Elektrodensschicht 122 sollte vorzugsweise im Bereich von 0,1 μm bis 5 μm liegen, bevorzugt im Bereich von 0,2 μm bis 3 μm und noch bevorzugt von 0,5 μm bis 2 μm . Wenn die Dicke der zweiten positiven Elektrodensschicht 122 zu gering ist, kann keine dauerhafte Haftung an Verbindungswerkstoffe wie einer Zuleitung, einer Goldkugel usw. erreicht werden. Ist jedoch ihre Dicke zu groß, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke sowohl für die zweite positive Elektrodensschicht 122 als auch die negative Elektrode 140 hinsichtlich eines kostensensiblen Herstellungsverhaltens unbrauchbar ist.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel weist die dritte positive Elektrodensschicht 123 eine Dicke von etwa 20 Å auf. Optional kann die Dicke der dritten positiven Elektrodensschicht 123 im Bereich von 3 Å bis 1000 Å liegen. Die Dicke der dritten positiven Elektrodensschicht 123 sollte vorzugsweise im Bereich von 5 Å bis 1000 Å liegen, bevorzugt im Bereich von 10 Å bis 500 Å und noch bevorzugt von 15 Å bis 100 Å. Wenn die Dicke der dritten positiven Elektrodensschicht 123 zu gering ist, wird die Haftung an die Schutzschicht 130 geschwächt, und wenn sie zu groß ist, wird der Widerstand zu hoch.

Bei dem dritten Ausführungsbeispiel ist die dritte positive Elektrodensschicht 123 aus Titan (Ti). Optional kann die dritte positive Elektrodensschicht 123 aus Titan (Ti) oder Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ausgebildet sein.

Fig. 6 zeigt eine Tabelle der Eigenschaften der bei der ersten positiven Elektrodensschicht 121 verwendeten Metalle. Die Bewertungspunkte ① bis ⑧ haben die nachstehende Bedeutung:

① REFLEXIONSVERMÖGEN: Grad des Reflexionsvermögens sichtbarer (violetter, blauer und grüner) Strahlen, deren Wellenlänge im Bereich von 380 nm bis 550 nm liegt, wenn eine gewisse Lichtmenge durch die Abstrah-

lungsschicht 104 abgestrahlt wird;

② KONTAKTWIDERSTAND (ANSTEUERUNGSSPANNUNG): Höhe der Ansteuerungsspannung der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung im Zusammenhang mit dem Kontaktwiderstand der GaN-Schicht;

③ HAFTFÄHIGKEIT DER GaN-SCHICHT: Ein Maß für die Auftretungshäufigkeit eines durch eine vorbestimmte Belastungsprüfung ermittelten Fehlers;

④ KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT: Eine Bewertung durch die Eigenschaften jedes Metalls;

⑤ STABILITÄT DER EIGENSCHAFTEN NACH DER AUSBILDUNG VON Au: Eine Bewertung des Anstiegs der Ansteuerungsspannung mit der Zeit, nachdem die zweite positive Elektrodenschicht 122 aus Gold (Au) bei der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 300 ausgebildet wurde, und der Abnahme des Reflexionsvermögens für die sichtbaren Strahlen;

⑥ GESAMTBEWERTUNG (MASSENHERSTELLUNG): Eine Gesamtbewertung auf der Grundlage der vorstehend beschriebenen Punkte ① bis ⑤ hinsichtlich einer Massenfertigung der erfindungsgemäßen Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung.

Insbesondere hinsichtlich der Schwenkspitzenbauart einer Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung sollten die Bewertungen in den Punkten ① und ② für eine Massenfertigung der licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung besser als "GUT" ausfallen. Demzufolge zeigt die in Fig. 6 gezeigte Auflistung die Brauchbarkeit der Vorrichtung an.

Obwohl Rhodium (Rh) hinsichtlich des Reflexionsvermögens ① geringfügig Silber (Ag) unterlegen ist, zeigt es in den Punkten ② bis ⑤ im Vergleich zu den anderen Metallen die gleichen oder überlegene Eigenschaften. Folglich ist Rhodium nachweislich eines der besten Metalle für die Ausbildung der positiven Elektrode bzw. der ersten positiven Elektrodenschicht.

Außerdem weist Ruthenium (Ru) ähnliche oder fast gleiche Eigenschaften wie Rhodium (Rh) auf. Folglich ist es zur Ausbildung der positiven Elektrode bzw. der ersten positiven Elektrodenschicht nachweislich auch eines der besten Metalle.

Viertes Ausführungsbeispiel

Fig. 9 zeigt eine Draufsicht einer licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 500, einem Ausführungsbeispiel der in Fig. 4 gezeigten erfindungsgemäßen Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 300. Da die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 500 nahezu den gleichen Aufbau wie den der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 300 aufweist, sind alle Schichten mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet und es werden für sie die gleichen Metalle wie für die in Fig. 4 gezeigten Schichten verwendet.

Dann wurden die alterungsbedingten Schwankungen der Lichtstärke der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 500 gemessen. Fig. 5B zeigt eine Tabelle zum Vergleich der alterungsbedingten Schwankungen der Lichtstärken der Lichtabstrahlenden Halbleitervorrichtung 500 und der bekannten Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 400. Wie in Fig. 5B gezeigt ist, können erfindungsgemäß hinsichtlich der Lichtstärke nach 100 h 95% und nach 1000 h 90% des Anfangswertes aufrechterhalten werden, während bei der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 400 lediglich 90% des Anfangswertes nach 100 h und 85% nach 1000 h aufrechterhalten werden können. Demzufolge kann erfindungsgemäß die Zuverlässigkeit im Vergleich zu der bekannten Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 400 verbessert werden.

Da der Aufbau der Licht-abstrahlenden Schwenkspitzen-

halbleitervorrichtung 500 ihr eine hohe Lichtstärke und Zuverlässigkeit ermöglicht, kann die Schutzschicht 130 auf einer beträchtlichen Fläche weggelassen werden und sowohl die positive als auch die negative Elektrode können eine 5 ausgedehntere Fläche für den Anschluß einer externen Elektrode verwenden. Wie in Fig. 9 gezeigt ist, können die negative Elektrode und die positive Elektrode über 10% bzw. über 40% der oberen Fläche der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung 500 einnehmen. Deswegen kann die Verbindung zu einer externen Elektrode nicht auf eine Drahtverbindung beschränkt sein. Optional können die Elektroden mit einer externen Elektrode durch die unmittelbare Ausbildung einer Zuleitung mit Lötlmetall oder einer Goldkugel auf die positive und die negative Elektrode verbunden 10 werden, oder die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 500 wird invertiert und kann unmittelbar mit einer Schaltungsplatine verbunden werden.

Bei dem vierten Ausführungsbeispiel weist die positive Mehrfachelektrode 120 eine Dicke von etwa 1,5 µm auf. Optional kann die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 im Bereich von 0,11 µm bis 10 µm liegen. Liegt die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 unter 0,11 µm, wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend, und es kann keine dauerhafte Haftung an Verbindungswerkstoffe 25 wie einer Zuleitung, einer Goldkugel usw. erreicht werden. Liegt jedoch die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 über 10 µm, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist.

Bei dem vierten Ausführungsbeispiel weist die erste positive Elektrodenschicht 121 eine Dicke von etwa 0,3 µm auf. Optional kann die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht 121 im Bereich von 0,01 µm bis 5 µm liegen. Die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht 121 sollte bevorzugter im Bereich von 0,05 µm bis 1 µm liegen. Beträgt die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht 121 zu wenig, wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend, beträgt sie jedoch zu viel, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist. 40

Bei dem vierten Ausführungsbeispiel weist die zweite positive Elektrodenschicht 122 eine Dicke von etwa 1,2 µm auf. Optional kann die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 im Bereich von 0,03 µm bis 5 µm liegen. Die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 sollte vorzugsweise im Bereich von 0,05 µm bis 3 µm bzw. von 0,1 µm bis 5 µm liegen, bevorzugter im Bereich von 0,2 µm bis 3 µm und noch bevorzugter von 0,5 µm bis 2 µm. Wenn die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 zu gering ist, kann keine dauerhafte Haftung an Verbindungswerkstoffe wie einer Zuleitung, einer Goldkugel usw. erreicht werden. Ist jedoch ihre Dicke zu groß, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke sowohl für die zweite positive Elektrodenschicht 122 als auch die negative Elektrode 140 hinsichtlich eines kostensensiblen Herstellungsverhaltens unbrauchbar ist. 55

Bei dem vierten Ausführungsbeispiel weist die dritte positive Elektrodenschicht 123 eine Dicke von etwa 20 Å auf. Optional kann die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht 123 im Bereich von 3 Å bis 1000 Å liegen. Die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht 123 sollte vorzugsweise im Bereich von 5 Å bis 1000 Å liegen, bevorzugter im Bereich von 10 Å bis 500 Å und noch bevorzugter von 15 Å bis 100 Å. Wenn die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht 123 zu gering ist, wird die Haftung an die Schutzschicht 130 geschwächt, und wenn sie zu groß ist, wird der Widerstand zu hoch. 60

Bei dem vierten Ausführungsbeispiel ist die dritte posi-

tive Elektrodenschicht 123 aus Titan (Ti). Optional kann die dritte positive Elektrodenschicht 123 aus Chrom (Cr) sein.

Fünftes Ausführungsbeispiel

Fig. 10 zeigt eine Schnittansicht einer Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 600. Die Halbleitervorrichtung 600 weist ein Saphirsubstrat 101 auf, auf dem aufeinanderfolgend eine Pufferschicht 102 aus Nitridaluminium (AlN) mit einer Dicke von 200 Å und einer n⁺-dotierten Schicht 103 mit einer Dicke von 4,0 µm und einer hohen Ladungsträgerkonzentration ausgebildet sind.

Zudem ist auf der n⁺-dotierten Schicht 103 eine mit einer Mehrfachquantentopfstruktur (MQW) aus GaN und Ga_{0,8}In_{0,2}N aufgebaute Abstrahlungsschicht 104 ausgebildet. Eine Mg-dotierte p-Schicht 105 aus Al_{0,15}Ga_{0,85}N mit einer Dicke von 600 Å ist auf der Abstrahlungsschicht 104 ausgebildet. Weiterhin ist eine Mg-dotierte p-Schicht 106 aus GaN mit einer Dicke von 1500 Å auf der p-Schicht 105 ausgebildet.

Eine positive Elektrode 120, die nachstehend auch als positive Mehrfachelektrode 120 bezeichnet werden kann, ist durch ein Metallabscheideverfahren auf der p-Schicht 106 ausgebildet, und eine negative Elektrode 140 ist auf der n⁺-dotierten Schicht 103 ausgebildet. Die positive Mehrfachelektrode 120 ist in einem Dreischichtaufbau mit einer zu der p-Schicht 106 benachbarten ersten positiven Elektrodenschicht 121, einer auf der ersten positiven Elektrodenschicht 121 ausgebildeten zweiten positiven Elektrodenschicht 122 und einer auf der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 ausgebildeten dritten positiven Elektrodenschicht 123 ausgebildet.

Die erste positive Elektrodenschicht 121 ist eine zu der p-Schicht 106 benachbarte Metallschicht, die aus Rhodium (Rh) mit einer Dicke von etwa 3000 Å ausgebildet ist. Die zweite positive Elektrodenschicht 122 ist eine Metallschicht aus Titan (Ti) mit einer Dicke von etwa 100 Å. Die dritte positive Elektrodenschicht 123 ist eine Metallschicht aus Gold (Au) mit einer Dicke von etwa 500 Å.

Eine negative Elektrode 140 mit einem Vielschichtaufbau ist auf einem freigelegten Abschnitt der n⁺-dotierten Schicht 103 mit der hohen Ladungsträgerkonzentration ausgebildet. Der Vielschichtaufbau weist die nachstehenden fünf Schichten auf: eine etwa 175 Å dicke Vanadiumschicht 141 (V); eine etwa 1000 Å dicke Aluminiumschicht 142 (Al); eine etwa 500 Å dicke Vanadiumschicht 143 (V); eine etwa 5000 Å dicke Nickelschicht 144 (Ni); und eine etwa 8000 Å dicke Goldschicht 145 (Au).

Eine Schutzschicht 130 aus einer SiO₂-Schicht ist zwischen der positiven Mehrfachelektrode 120 und der negativen Elektrode 140 ausgebildet. Die Schutzschicht 130 bedeckt einen Abschnitt der zur Ausbildung der negativen Elektrode 140 freigelegten n⁺-dotierten Schicht 103, die Seiten der Abstrahlungsschicht 104, der p-Schicht 105 und der durch Ätzen freigelegten p-Schicht 106, einen Abschnitt der oberen Oberfläche der p-Schicht 106, die Seiten der ersten positiven Elektrodenschicht 121, der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 und der dritten positiven Elektrodenschicht 123, und einen Abschnitt einer oberen Oberfläche der dritten positiven Elektrodenschicht 123. Die Dicke der einen Abschnitt der oberen Oberfläche der dritten positiven Elektrodenschicht 123 bedeckenden Schutzschicht 130 beträgt 0,5 µm.

Erfindungsgemäß kann die Strahlungsleistung im Vergleich zum Stand der Technik um etwa 30–40% verbessert werden.

Da der Aufbau der Licht-abstrahlenden Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 600 ihr eine hohe Lichtstärke und Zu-

verlässigkeit ermöglicht, kann die Schutzschicht 130 auf einer beträchtlichen Fläche weggelassen werden, und sowohl die positive als auch die negative Elektrode können eine ausgedehntere Fläche für einen Anschluß an eine externe Elektrode verwenden. Durch eine unmittelbare Ausbildung einer Zuleitung durch ein Lötmetall oder einer Goldkugel auf die positive und die negative Elektrode wird die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 600 invertiert und kann unmittelbar an eine Schaltungsplatine angeschlossen werden.

Zudem kann die Licht-abstrahlende Halbleitervorrichtung 600 außerdem mit einer externen Elektrode durch eine Drahtverbindung verbunden werden.

Bei dem fünften Ausführungsbeispiel weist die positive Mehrfachelektrode 120 eine Dicke von etwa 0,36 µm auf. Optional kann die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 im Bereich von 0,11 µm bis 10 µm liegen. Liegt die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 unter 0,11 µm, wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend, und es kann keine dauerhafte Haftung an Verbindungswerkstoffe wie einer Zuleitung, einer Goldkugel usw. erreicht werden. Liegt jedoch die Dicke der positiven Mehrfachelektrode 120 über 10 µm, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist.

Bei dem fünften Ausführungsbeispiel weist die erste positive Elektrodenschicht 121 eine Dicke von etwa 3000 Å auf. Optional kann die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht 121 im Bereich von 0,01 µm bis 5 µm liegen. Die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht 121 sollte bevorzugter im Bereich von 0,05 µm bis 1 µm liegen. Beträgt die Dicke der ersten positiven Elektrodenschicht 121 zu wenig, wird das Reflexionsvermögen für Licht unzureichend, beträgt sie jedoch zu viel, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke für kostensensibles Herstellungsverhalten unbrauchbar ist.

Bei dem fünften Ausführungsbeispiel weist die zweite positive Elektrodenschicht 122 eine Dicke von etwa 100 Å auf. Optional kann die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 im Bereich von 3 Å bis 1000 Å liegen. Die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 sollte vorzugsweise im Bereich von 5 Å bis 1000 Å liegen, bevorzugter im Bereich von 5 Å bis 500 Å und noch bevorzugter von 15 Å bis 100 Å. Wenn die Dicke der zweiten positiven Elektrodenschicht 122 zu gering ist, kann keine dauerhafte Haftung an Verbindungswerkstoffe wie einer Zuleitung, einer Goldkugel usw. erreicht werden. Ist jedoch ihre Dicke zu groß, ist zuviel Zeit und Material zur Abscheidung erforderlich, weswegen diese Dicke sowohl für die zweite positive Elektrodenschicht 122 als auch die negative Elektrode 140 hinsichtlich eines kostensensiblen Herstellungsverhaltens unbrauchbar ist.

Bei dem fünften Ausführungsbeispiel weist die dritte positive Elektrodenschicht 123 eine Dicke von etwa 500 Å auf. Optional kann die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht 123 im Bereich von 0,03 µm bis 5 µm liegen. Die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht 123 sollte vorzugsweise im Bereich von 0,05 µm bis 3 µm bzw. 0,1 µm bis 5 µm liegen, bevorzugter im Bereich von 0,2 µm bis 3 µm und noch bevorzugter von 0,5 µm bis 2 µm. Wenn die Dicke der dritten positiven Elektrodenschicht 123 zu gering ist, wird die Haftung an die Schutzschicht 130 geschwächt, und wenn sie zu groß ist, wird der Widerstand zu hoch.

Bei dem fünften Ausführungsbeispiel ist die dritte positive Elektrodenschicht 123 aus Gold (Au). Optional kann eine vierte positive Elektrode 124 aus Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung auf die dritte positive Elektrodenschicht 123 mit der

Breite der dritten positiven Elektrodenschicht gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel ausgebildet werden.

Im Hinblick auf den Aufbau der Schichten für die Elektroden bei dem ersten bis fünften Ausführungsbeispiel ist die physikalische und chemische Zusammensetzung jeder Schicht in der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung zum Zeitpunkt ihrer Abscheidung angeführt. Es ist nicht nötig, darauf hinzuweisen, daß feste Lösungen oder chemische Verbindungen zwischen allen Schichten durch physikalische oder chemische Behandlungen wie einer Wärmebehandlung ausgebildet werden, damit eine dauerhaftere Haftung erzielt oder ein Kontaktwiderstand verringert wird.

Bei dem ersten bis fünften Ausführungsbeispiel weist die Abstrahlungsschicht 104 eine MQW-Struktur (Mehrfachquantentopf) auf. Optional kann die Abstrahlungsschicht 104 eine SQW-Struktur (Einzelquantentopf) oder eine homozygote bzw. homogene Struktur aufweisen. Außerdem kann erfindungsgemäß eine Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiterschicht (inklusive einer Pufferschicht) der Licht-abstrahlenden Halbleitervorrichtung aus einer quaternären, ternären oder binären Schichtverbindung $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_y\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$) ausgebildet sein.

Optional können Metallnitride wie Titanitrid (TiN) und Hafniumnitrid (HfN) oder Metalloxide wie Zinkoxid (ZnO), Magnesiumoxid (MgO) und Manganoxid (MnO) zur Ausbildung der Pufferschicht verwendet werden.

Bei den Ausführungsbeispielen wird Magnesium (Mg) als p-Dotierung verwendet. Optional können Gruppe-II-Elemente wie Beryllium (Be) oder Zink (Zn) verwendet werden. Zudem können zur Herabsetzung des Widerstandes der p-dotierten Halbleiterschicht aktive Behandlungen wie die Bestrahlung mit Elektronenstrahlen oder ein Ausheilverfahren ausgeführt werden.

Bei diesen Ausführungsbeispielen ist die n-dotierte Schicht 103 einer hohen Ladungsträgerdichte aus Si-dotiertem Galliumnitrid (GaN). Optional können diese n-dotierten Halbleiterschichten durch Dotierung des vorstehend beschriebenen Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiters mit Gruppe-IV-Elementen wie Silizium (Si) oder Germanium (Ge), oder mit Gruppe-VI-Elementen ausgebildet werden.

Bei den Ausführungsbeispielen wird für das Substrat Saphir verwendet. Optional kann Siliziumkarbid (SiC), Zinkoxid (ZnO), Magnesiumoxid (MgO) oder Manganoxid (MnO) zur Ausbildung des Substrats verwendet werden.

Wie vorstehend beschrieben wurde, weist erfindungsgemäß eine Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung 100, 200, 300, 150, 500, 600 mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen eine dicke positive Elektrode 120 auf. Die positive Elektrode 120 aus zumindest Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ist zu einer p-dotierten Halbleiterschicht 106 benachbart angeordnet und reflektiert Licht zu einem Saphirsubstrat 101 hin. Demzufolge kann eine positive Elektrode 120 mit einem hohen Reflexionsvermögen und einem geringen Kontaktwiderstand erzielt werden. Eine zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht 106 und der dicken Elektrode 120 ausgebildete erste Dünnschicht-Metallschicht 111 aus Kobalt (Co) und Nickel (Ni) oder einer beliebigen zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Verbindung kann die Haftung zwischen einer Kontaktschicht und der dicken positiven Elektrode 120 verbessern. Die Dicke der ersten Dünnschicht-Metallelektrode 111 sollte vorzugsweise im Bereich von 2 Å bis 200 Å liegen, bevorzugter im Bereich von 5 Å bis 50 Å. Eine zweite Dünnschicht-Metallschicht 112 aus Gold (Au) kann die Haftung weiter verbes-

sern.

Während die Erfindung vorstehend in Verbindung mit den derzeit als am praktischsten und bevorzugtesten angesehenen Ausführungsbeispielen beschrieben ist, soll die Erfindung nicht als auf die offenbarten Ausführungsbeispiele beschränkt angesehen werden, sondern es ist im Gegenteil beabsichtigt, innerhalb des Bereiches der nachstehenden Patentansprüche enthaltene mannigfaltige Abwandlungen und gleichwertige Anordnungen abzudecken.

Patentansprüche

1. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung (100; 200; 300; 150; 500; 600) mit einem Substrat (101); Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiterschichten (102, 103, 104, 105, 106), die auf dem Substrat (101) ausgebildet sind; und eine positive Elektrode (120), die zumindest eine Schicht aus einer ersten positiven Elektrodenschicht (120; 121) enthält, die auf oder über einer p-dotierten Halbleiterschicht (106) ausgebildet ist und Licht zu dem Substrat (101) hin reflektiert, wobei die erste positive Elektrodenschicht (120; 121) zumindest aus Silber (Ag), Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Platin (Pt), Palladium (Pd) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ausgebildet ist.
2. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 1, wobei die positive Elektrode (120) einen Mehrschichtaufbau aus vielen Metallarten aufweist.
3. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 1, zudem mit einer ersten Dünnschicht-Metallschicht (111), die aus zumindest Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht (106) und der ersten positiven Elektrodenschicht (120) ausgebildet ist.
4. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 2, zudem mit einer ersten Dünnschicht-Metallschicht (111), die aus zumindest Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht (106) und der ersten positiven Elektrodenschicht (120) ausgebildet ist.
5. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach den Ansprüchen 3 und 4, wobei die Dicke der ersten Metall-Dünnschicht (111) im Bereich von 2 Å bis 200 Å liegt.
6. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach den Ansprüchen 3 und 4, zudem mit einer zweiten Dünnschicht-Metallschicht (112), die zumindest aus Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung zwischen der ersten Dünnschicht-Metallschicht (111) und der ersten positiven Elektrodenschicht (120) ausgebildet ist.
7. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 6, wobei die Dicke der zweiten Dünnschicht-Metallschicht (112) im Bereich von 10 Å bis 500 Å liegt.
8. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen

nach Anspruch 1, wobei die Dicke der ersten positiven Elektroden-schicht (121) im Bereich von 0,01 µm bis 5 µm liegt.

9. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 1, wobei die positive Elektrode (120) zudem eine zweite positive Elektroden-schicht (122) aufweist, die zumindest aus Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung auf der ersten positiven Elektroden-schicht (121) ausgebildet ist.

10. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 9, wobei die Dicke der zweiten positiven Elektroden-schicht (122) im Bereich von 0,03 µm bis 5 µm liegt.

11. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach den Ansprüchen 1 und 9, wobei die positive Elektrode (120) zudem eine dritte positive Elektroden-schicht (123) aufweist, die zumindest aus Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung auf der zweiten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

12. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 11, wobei die Dicke der dritten positiven Elektroden-schicht (123) im Bereich von 3 Å bis 1000 Å liegt.

13. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit einem Substrat;

Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiterschichten, die auf dem Substrat ausgebildet sind; und einer positiven Elektrode, die auf oder über einer p-dotierten Halbleiterschicht ausgebildet ist und Licht zu dem Substrat hin reflektiert, wobei die positive Elektrode einen Dreischichtaufbau aufweist, mit einer ersten positiven Elektroden-schicht, die zumindest aus Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ausgebildet ist;

einer zweiten positiven Elektroden-schicht, die zumindest aus Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung unmittelbar auf der ersten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist; und einer dritten positiven Elektroden-schicht, die zumindest aus Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung unmittelbar auf der zweiten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

14. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 13, wobei die Dicken der ersten, zweiten und dritten positiven Elektroden-schichten im Bereich von 0,02 µm bis 2 µm bzw. 0,05 µm bis 3 µm bzw. 5 Å bis 500 Å liegen.

15. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 13, zudem mit einer ersten Dünnschicht-Metallschicht, die aus zumindest Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung zwischen der p-dotierten Halbleiterschicht und der ersten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

16. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 13, zudem mit einer zweiten Dünnschicht-Metallschicht, die zumindest aus Gold (Au)

oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung zwischen der ersten Dünnschicht-Metallschicht und der ersten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

17. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 13, wobei eine isolierende Schutzschicht (130) aus Siliziumoxid (SiO_2), Siliziumnitrid (Si_3N_4), einer Titanverbindung (Ti_xN_y , usw.) oder Polyamid unmittelbar auf der dritten positiven Elektroden-schicht (123) ausgebildet ist.

18. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit einem Substrat;

Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungshalbleiterschichten, die auf dem Substrat ausgebildet sind; und einer positiven Elektrode, die auf oder über einer p-dotierten Halbleiterschicht ausgebildet ist und Licht zu dem Substrat hin reflektiert, wobei die positive Elektrode einen Dreischichtaufbau aufweist, mit einer ersten positiven Elektroden-schicht, die zumindest aus Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung ausgebildet ist;

einer zweiten positiven Elektroden-schicht, die zumindest aus Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung unmittelbar auf der ersten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist; und

einer dritten positiven Elektroden-schicht, die zumindest aus Gold (Au) oder einer Gold (Au) enthaltenden Legierung unmittelbar auf der zweiten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

19. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 18, wobei die Dicken der ersten, zweiten und dritten positiven Elektroden-schichten im Bereich von 0,02 µm bis 2 µm bzw. 5 Å bis 500 Å bzw. 0,05 µm bis 3 µm liegen.

20. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach Anspruch 18, zudem mit einer vierten positiven Elektroden-schicht aus zumindest Titan (Ti), Chrom (Cr) oder einer zumindest eines dieser Metalle enthaltenden Legierung, die unmittelbar auf der dritten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

21. Licht-abstrahlende Schwenkspitzenhalbleitervorrichtung mit Gruppe-III-Element-Nitrid-Verbindungen nach den Ansprüchen 18 und 20, wobei eine isolierende Schutzschicht aus Siliziumoxid (SiO_2), Siliziumnitrid (Si_3N_4), einer Titanverbindung (Ti_xN_y , usw.) oder Polyamid unmittelbar auf der dritten positiven Elektroden-schicht bzw. auf der vierten positiven Elektroden-schicht ausgebildet ist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

n-Contact

1: 175Å V
2: 1000Å Al
3: 500Å V
4: 5000Å Ni
5: 8000Å Au

100

120

130

140

141

142

143

144

145

106

105

104

103

102

101

REFLEKTIERTES LICHT

FIG. 2

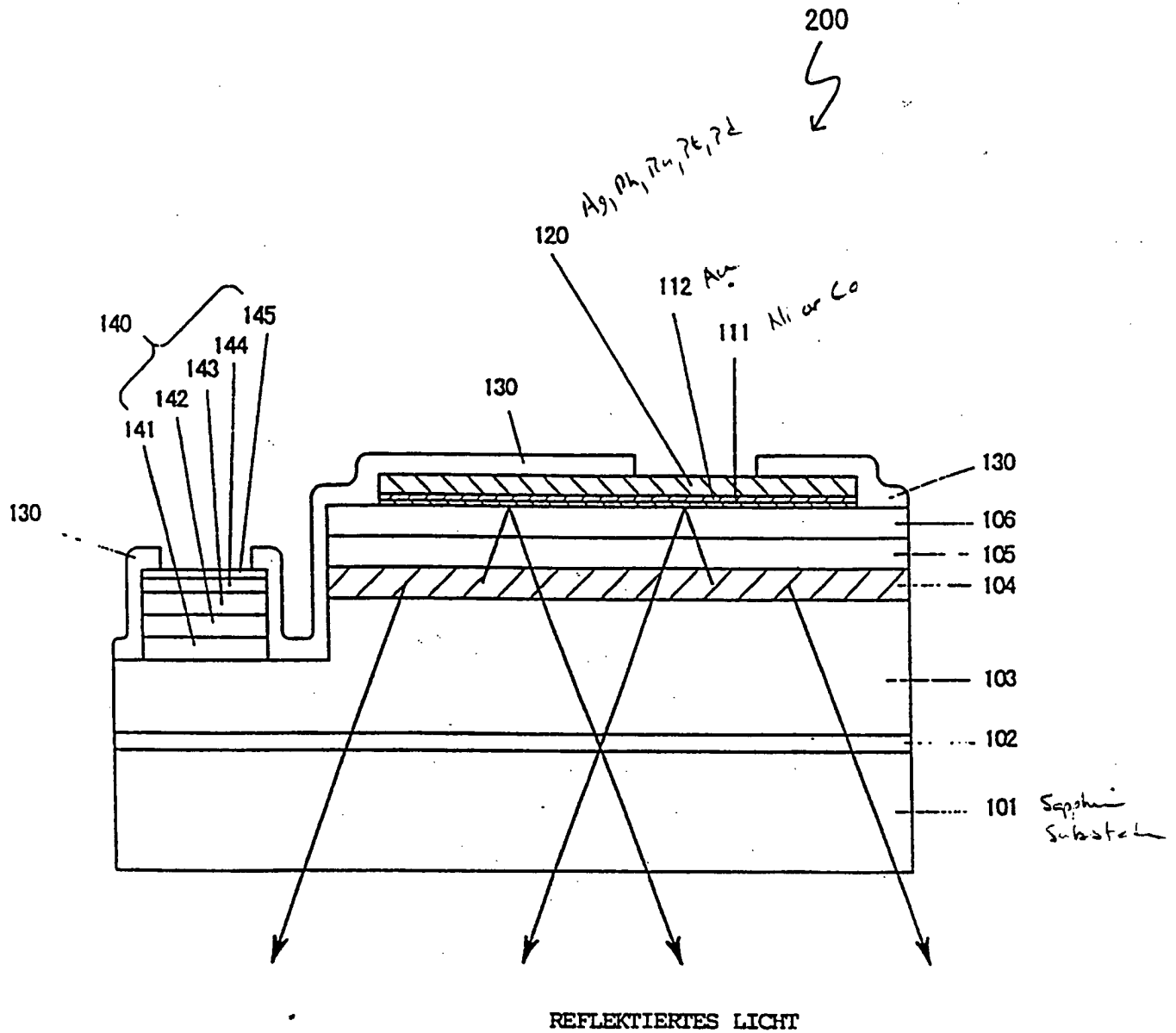


FIG. 3

NR.	TECHNOLOGIE EINTEILUNG	AUFBAU	POSITIVE ELEKTRODE	ERSTE DÜNN-SCHICHT- METALL - SCHICHT	ZWEITE DÜNN-SCHICHT- METALL - SCHICHT	RELATIVE LICHTSTÄRKE	HAFTFÄHIG - KEIT	
1	STAND DER TECHNIK	LICHTAB - STRAHLENDE VORRICHTUNG 400	Co (3000 Å)	-	-	100	⊙	
2			Ni (3000 Å)	-	-	100	⊙	
3	E R F I N D U N G	LICHTAB - STRAHLENDE VORRICHTUNG 150	Ag (3000 Å)	-	-	160	○	
3.1			Rh (3000 Å)	-	-	140	⊙	
4		LICHTAB - STRAHLENDE VORRICHTUNG 100	Ag (3000 Å)	Co (10 Å)	-	-	150	○
5			Rh (3000 Å)	Co (10 Å)	-	-	130	○
6			Pt (3000 Å)	Co (10 Å)	-	-	110	○
7		LICHTAB - STRAHLENDE VORRICHTUNG 200	Pd (3000 Å)	Co (10 Å)	-	-	110	○
8			Ag (3000 Å)	Co (10 Å)	Au (150 Å)	150	⊙	

○ : AUSGEZEICHNET
○ : GUT
○ : GERINGER ALS GUT, ABER BRAUCHBAR

Wasser
auf
Hauptstadt

Page
1/1

FIG. 4

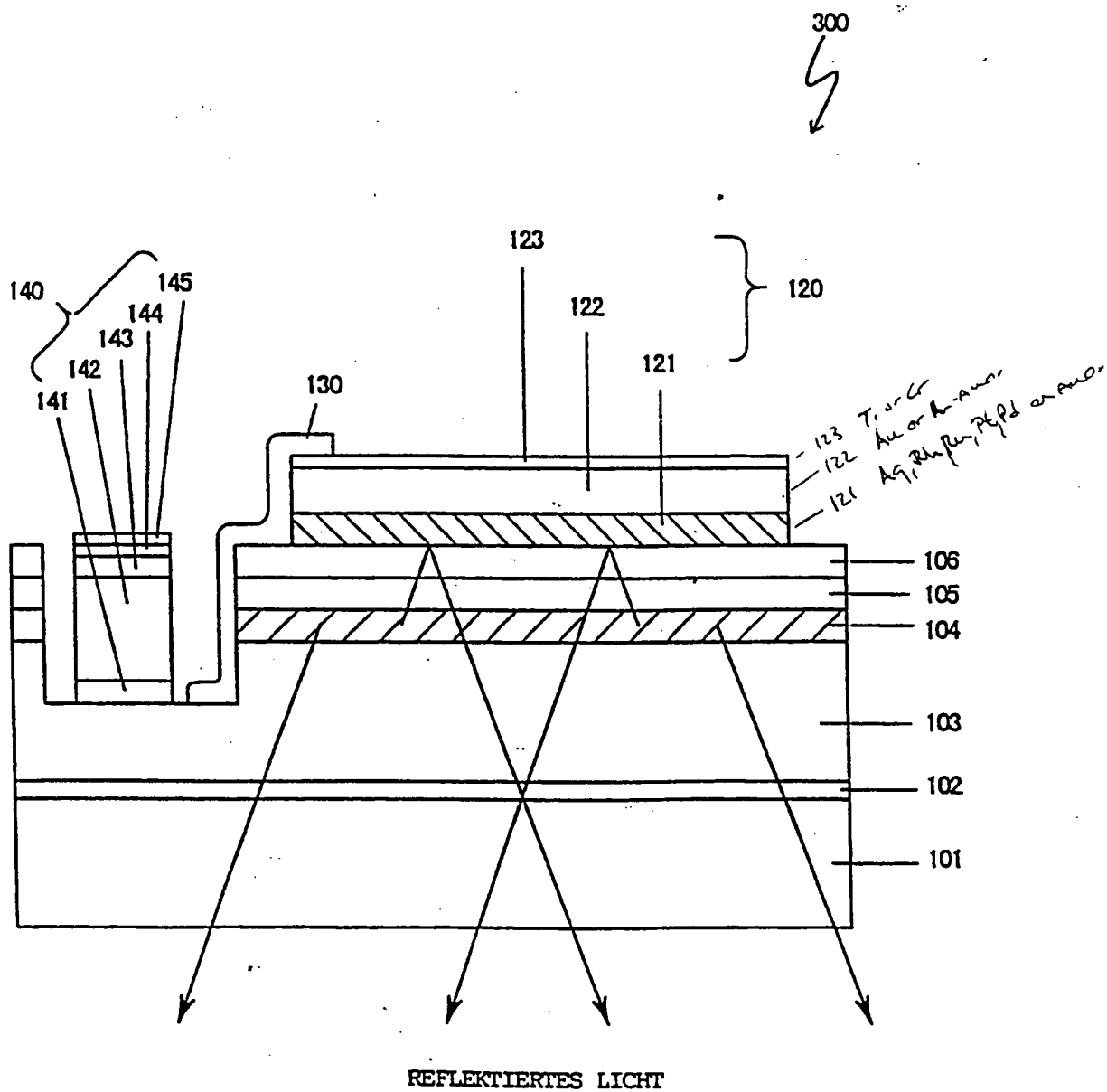


FIG. 5A

STAND DER TECHNIK		100
ERFINDUNG	Pt	160
	Rh	190

FIG. 5B

	ANFANGS- LICHT - STÄRKE	100 h SPÄTER	1000 h SPÄTER
STAND DER TECHNIK	100	80	70
ERFINDUNG	100	95	90

FIG. 6

METALL	REFLEXIONS- KONTAKTWIDEN- STAND VERMÖGEN						BEWERTUNGSPUNKTE (score)					
	① REFLECTIVITY	②	③ ADHESION	④	⑤	⑥						
Rh	⊙	⊕	⊕	⊕	○	⊙						
Pt	○	○	○	○	△	○						
Ru	○	○	○	○	△	○						
Ag	⊙	○	△	△	△	○ ⁻						
Pd	○	○	△	○	△	○ ⁻						
Al	⊙	△	△	△	X	△						
Ni	△	○	○	○	○	△						
Co	△	○	○	○	○	△						
Mg	○	△	○	X	△	△ ⁻						
Sn	○	X	X	△		X						

⊙ : AUSGE - ZEICHNET
○ : GUT
△ : MITTEL- MÄSSIG
X : SCHLECHT
⊕ : SCHLECHT
⊕⁺ : BESSER ALS
○⁻ : SCHLECHTER ALS

- ① REFLEXIONSVERMÖGEN
- ② KONTAKTWIDENSTAND
- ③ HAFT FÄHIGKEIT DER GAN-SCHILT
- ④ KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT
- ⑤ STABILITÄT DER EIGENSCHAFTEN NACH DER AUSBILDUNG VON Au
- ⑥ GESAMTBEWERTUNG

FIG. 7

STAND DER TECHNIK

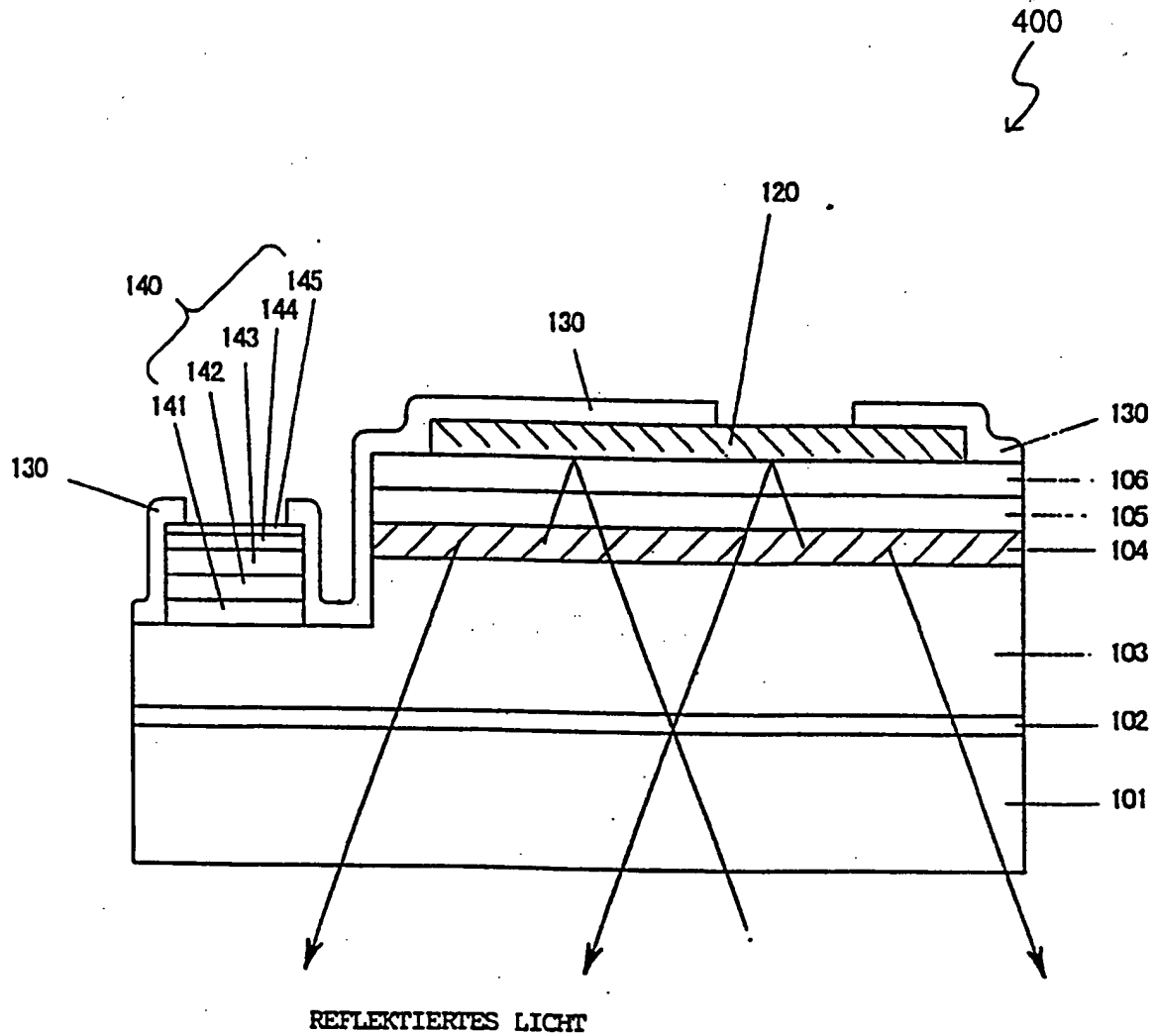


FIG. 8

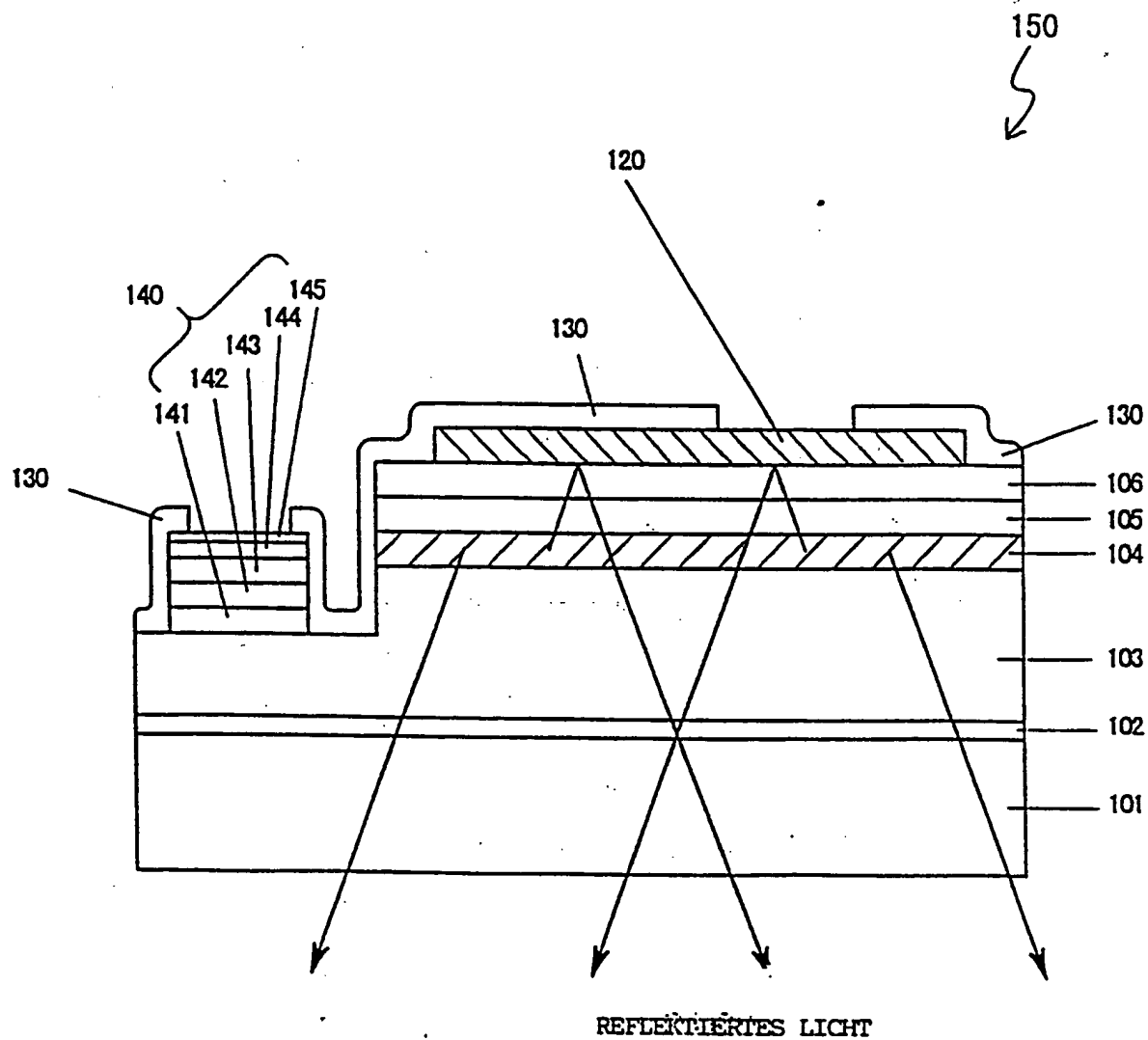


FIG. 9

500

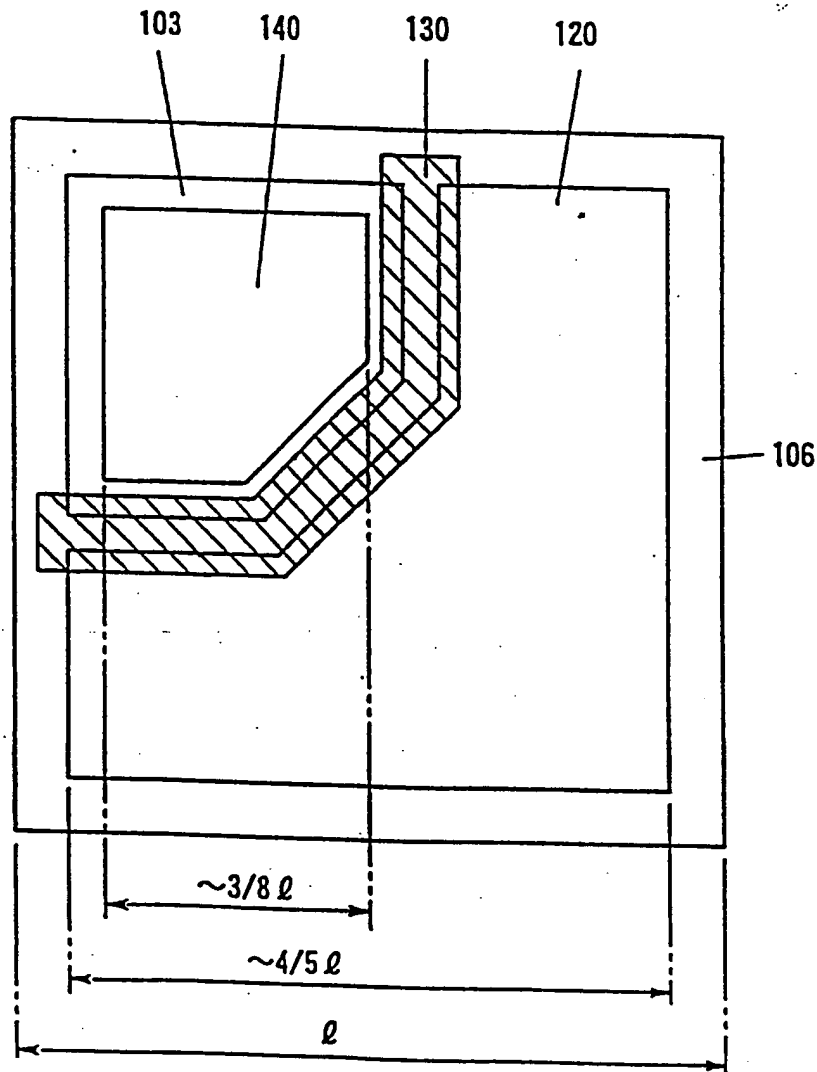
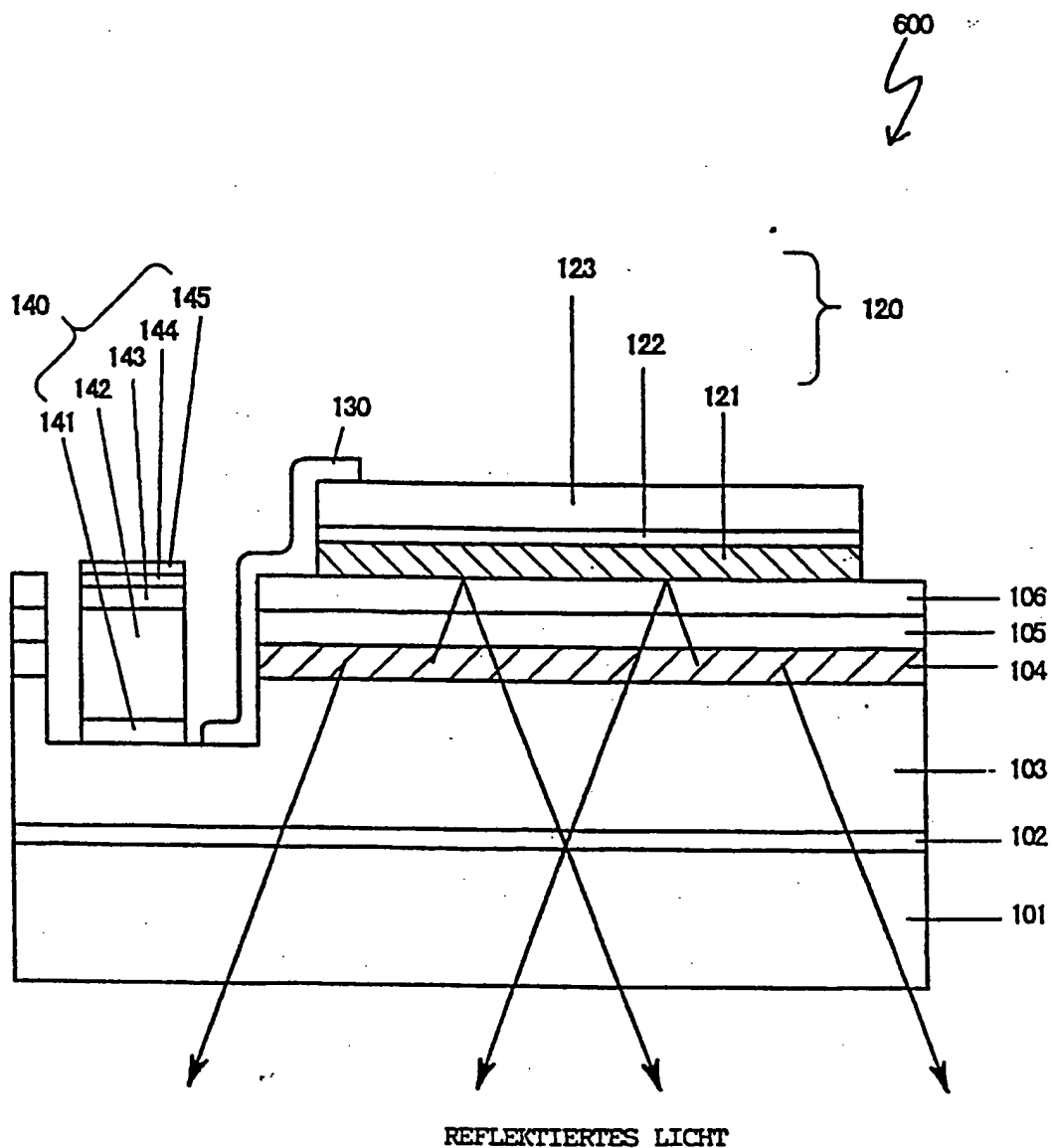


FIG. 10



Translation from German

- (19) **FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY**
GERMAN PATENT AND TRADE MARK OFFICE
- (12) **Unexamined patent application ("Offenlegungsschrift")**
- (51) **Int. Cl.⁶:**
H 01 L 33/00
- (10) **DE 199 21 987 A 1**
- (21) **Application number: 199 21 987.7**
- (22) **Application date: 5.12.99**
-
- (43) **Date laid open to public inspection: 11.18.99**
-
- (30) **Union priority:**
- | | | |
|--------------------|-----------------|--------------|
| P 150532/98 | 05.13.98 | JAPAN |
| P 358549/98 | 12.17.98 | JAPAN |
| P 563557/99 | 03.04.99 | JAPAN |
- (71) **Applicant:**
Toyoda Gosei Co., Ltd., Aichi, JAPAN

(74) Agents:

Tiedtke, Bühling, Kinne & Partners, 80336, München

(72) Inventors:

Uemura, Toshiya, Tsushima, Aichi, JAPAN;

Horiuchi, Shigemi, Nagoya, Aichi, JAPAN

The following data were taken from the documents
that were submitted by the applicant

An application for examination has been arranged in accordance with § 44 of the Patent Law

(54) Light emitting semiconductor device with nitride compounds of Group III elements

(57) A light emitting flip-tip semiconductor device (100; 200; 300; 150; 500; 600) with nitride compounds of Group III elements has a thick positive electrode (120). The positive electrode (120), which comprises at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy that contains at least one of these metals, is arranged to be adjacent to a p-doped semiconductor layer (106) and reflects light toward a sapphire substrate (101). Consequently, a positive electrode (120) with a high reflection factor and low contact resistance can be achieved. A first thin metal layer (111), which comprises cobalt (Co) and nickel (Ni) or any desired compound that contains at least one of these metals and which is assembled between the p-doped semiconductor layer (106) and the thick electrode (120), is capable of improving the adhesion between a contact layer and the thick positive electrode (120). The thickness of the first thin layer metal electrode (111) should preferably be in the range from 2 to 200 angstroms or, preferably, in the range from 5 to 50 angstroms. A second thin metal layer (112), which comprises gold (Au), is capable of improving the adhesion still further.

[diagram; front cover]

REFLECTED LIGHT

Specification

The invention pertains to a light emitting flip-tip (German: "swivel-tip") type of semiconductor device that has nitride layers of Group III elements that are assembled on a sapphire substrate. In specific terms, the invention pertains to a device with a high luminous intensity and a low triggering potential.

Fig. 7 shows a sectional view of a known light-emitting semiconductor 400 using the flip-tip type of assembly. The references numbers 101, 102, 103, 104, 105, 106, 120, 130 and 140 designate a sapphire substrate, a buffer layer comprising AlN or GaN, an n-doped GaN layer, an emitting layer, a p-doped AlGaIn layer, a p-doped GaN layer, a positive electrode, a protective layer, and a negative electrode with a multi-layer structure. The thick positive electrode 120, which is connected to the layer 106, is hereby a metal layer with a thickness of 3000 angstroms (10 angstroms = 1 nm) that is assembled from metals such as nickel (Ni) or cobalt (Co).

A thick metal electrode is usually used as a positive flip-tip electrode 120 for the effective refraction of the light, which is emitted from an emitting layer 104, toward a sapphire substrate 101.

However, a problem remains in regard to the luminous intensity. In the case of the known device, metals, such as nickel (Ni) or cobalt (Co), have been used for the assembly of the thick positive electrode 120. Because of this, the reflection factor for visible rays (violet, blue and green) whose wavelengths are in the range from 380 to 550 nm, was insufficient and the device was unable to achieve an adequate luminous intensity as a light emitting semiconductor device. Thus additional improvements were required as have been recognized by the inventors in the present document.

The task that therefore forms the basis of the invention is to indicate a light emitting semiconductor device with a high luminous intensity and a low triggering potential.

In addition, a light emitting semiconductor device is indicated whose electrode has a high reflection factor and high reliability and for which the structure of the electrodes has been simplified.

In accordance with a first form of embodiment of the invention, the present task is accomplished by means of a light emitting flip-tip semiconductor device with use being made of a Group III element nitride compound semiconductor, which is formed via Group III element nitride compound semiconductor layers, whereby this semiconductor is assembled on a substrate and a positive electrode with the involvement of at least one layer of a first positive electrode layer, whereby this [positive electrode layer] is electrically connected to a p-doped semiconductor layer and reflects light toward the substrate. The positive electrode comprises at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt) or palladium (Pd) or an alloy that contains at least one of these metals. The thickness of the positive electrode should preferably be in the range from 100 angstroms to 5 μm

Secondly, in accordance with the invention, a multi-layer structure comprising a plurality of types of metal is assembled in the case of the electrode that is described above. When the first positive electrode, which is assembled on or above, i.e. relatively close to, the p-doped semiconductor layer, is assembled from silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy containing at least one of these elements, then the invention comes into effect. Virtually all of the underlayers, which contain the first positive electrode layer, whereby these underlayers are arranged in the region of 1000 angstroms below the positive electrode, should also preferably be assembled from the metals that have been described above.

Thirdly, in accordance with the invention, a first thin metal layer comprising at least cobalt (Co), nickel (Ni) or an alloy that contains at least one of these metals, is assembled between the p-doped semiconductor layer and the first positive electrode layer.

Fourthly, in accordance with the invention, the thickness of the first thin metal layer is defined to be in the range from 2 angstroms to 200 angstroms. The thickness of the first thin metal layer should preferably be in the range from 5 angstroms to 50 angstroms.

In the fifth place, in accordance with the invention, a second thin metal layer, which comprises at

least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au), is assembled between the first thin metal layer and the first positive electrode layer.

In the sixth place, in accordance with the invention, the thickness of the second thin metal layer is assembled such that it is in the range from 10 angstroms to 500 angstroms. The thickness of the second thin metal layer should preferably be in the range from 30 angstroms to 300 angstroms.

In the seventh place, in accordance with the invention, the thickness of the first positive electrode layer is defined to be in the range from 0.01 μm to 5 μm . The thickness of the first positive electrode layer should preferably be in the range from 0.05 μm to 1 μm .

In the eighth place, in accordance with the invention, a second positive electrode layer, which comprises at least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au), is assembled on the first positive electrode layer.

In the ninth place, in accordance with the invention, the thickness of the second positive electrode layer is defined to be in the range from 0.03 μm to 5 μm . The thickness of the second positive electrode layer should preferably be in the range from 0.05 μm to 3 μm or, more preferably, in the range from 0.5 μm to 2 μm .

In the tenth place, in accordance with the invention, a third positive electrode layer, which comprises at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals, is assembled on the first positive electrode layer or the second positive electrode layer.

In the eleventh place, in accordance with the invention, the thickness of the third positive electrode metal layer is defined to be in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms. The thickness of the third positive electrode layer should preferably be in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms or, respectively, 10 angstroms to 500 angstroms or, still more preferably, in the range from 15 angstroms to 100 angstroms or, respectively, 5 angstroms to 500 angstroms.

In the twelfth place, in accordance with the invention, the first positive electrode layer, which comprises at least rhodium (Rh), ruthenium (Ru) or an alloy that contains at least one of these metals, is assembled on the p-doped semiconductor layer.

In the thirteenth place, in accordance with the invention, the positive electrode exhibits a multi-layer structure with the following three layers: a first positive electrode layer that comprises at least rhodium (Rh), ruthenium (Ru) or an alloy that contains at least one of these metals; a second positive electrode layer that comprises at least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au) and that is assembled directly on the first positive electrode layer; and a third positive electrode layer that comprises at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals and that is assembled directly on the second positive electrode layer. The first positive electrode layer is connected directly to the p-doped semiconductor layer.

In the fourteenth place, in accordance with the invention, the thicknesses of the first, second and third positive electrode layers are defined to be in the range from 0.02 μm to 2 μm or, respectively, 0.05 μm to 3 μm or, respectively, 5 angstroms to 500 angstroms.

In the fifteenth place, in accordance with the invention, a light emitting flip-tip semiconductor device is indicated with a Group III element nitride compound semiconductor that is formed by means of Group III element nitride compound semiconductor layers, whereby these semiconductor layers are assembled on a substrate, and a positive electrode that contains at least one layer of a first positive electrode layer, which is assembled on or above the p-doped semiconductor layer, and that reflects light toward the substrate. The positive electrode has a triple layer structure that is formed by a first positive electrode layer that comprises at least rhodium (Rh), ruthenium (Ru) or an alloy that contains at least one of these metals, a second positive electrode layer, which is assembled directly on the first positive electrode layer and which comprises titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals, and a third positive electrode layer, which is assembled directly on the second positive electrode layer and which comprises at least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au).

In the sixteenth place, in accordance with the invention, a fourth positive electrode layer, which comprises at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals, is assembled directly on the third positive electrode layer.

In the seventeenth place, in accordance with the invention, an insulating protective layer, which comprises at least silicon dioxide (SiO_2), silicon nitride (Si_xN_y), a titanium compound (Ti_xN_x [sic] etc.) or a polyamide is assembled directly on the third and fourth positive electrode layers.

Since each of the elements silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt) and palladium (Pd) has a high reflection factor R ($0.6 < R < 1.0$) in terms of visible rays (violet, blue and green) whose wavelength is in the range from 380 nm to 550 nm, the use of one of these metals, or an alloy that contains at least one of these metals, for the assembly of the first positive electrode layer improves the reflection factor of the positive electrode. Consequently, the device in accordance with the invention can achieve an adequate luminous intensity in the form of a light emitting semiconductor device.

Fig. 6 shows a table in order to illustrate the properties of the metals that are used in the case of the first positive electrode layer. Details of the listing are described in the examples of embodiments that are given below. An assessment, which emerges from the various assessments that are shown in Fig. 6, establishes that the five types of metal, i.e. rhodium (Rh), platinum (Pt), ruthenium (Ru), silver (Ag) and palladium (Pd), are demonstrably the best for the assembly of the first positive electrode layer.

Since these five metals have a high work function, the contact resistance is low between the p-doped semiconductor layer and silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy that contains at least one of these metals. This means that a light emitting semiconductor device can be provided with a low triggering potential as a result of the use of these metals.

Since these metals are additionally noble metals or metals of the platinum group, the degeneration, on aging, of their resistance to corrosion by moisture is improved, for example, and

a high quality electrode can be provided by using these metals.

Although rhodium (Rh) [sic] is somewhat worse than silver (Ag) in regard to its reflection factor, it exhibits the same or superior properties in comparison to other metals in terms of other properties. Thus rhodium (Rh) [sic] is demonstrably one of the best metals for the assembly of the first positive electrode layer.

In addition, ruthenium (Ru) has properties that are similar or almost identical to those of rhodium (Rh). Thus, it is also demonstrably one of the best metals for the assembly of the first positive electrode layer.

The adhesion between the first positive electrode layer and the p-doped semiconductor layer is improved via the assembly of the first thin metal layer, and a light-emitting device with a stable structure can be provided. The thickness of the first thin metal layer should preferably be in the range from 2 angstroms to 200 angstroms. If the thickness of the first thin metal layer amounts to less than 2 angstroms, then durable adhesion cannot be achieved and if it is more than 200 angstroms, the light reflection factor of the elements silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) and an alloy that contains at least one of these metals - whereby these metals form the first thick positive electrode layer - is inadequate.

Furthermore, the adhesion between the first positive electrode layer and the p-doped semiconductor layer is improved via the assembly of the second thin metal layer, and a light emitting semiconductor device with a still more durable structure can be provided. The thickness of the second thin metal layer should preferably be in the range from 10 angstroms to 500 angstroms. If the thickness of the second thin metal layer amounts to less than 10 angstroms, then durable adhesion cannot be achieved and if it is more than 500 angstroms, the light reflection factor of the elements silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) and an alloy that contains at least one of these metals - whereby these metals form the first positive electrode layer - is inadequate.

The thickness of the first positive electrode layer is in the range from $0.01\text{ }\mu\text{m}$ to $5\text{ }\mu\text{m}$. If the thickness of the first positive electrode layer is less than $0.01\text{ }\mu\text{m}$, then the emitted light penetrates the layer without being reflected and if the thickness amounts to more than $5\text{ }\mu\text{m}$, too much time is required for assembly, whereby this is disadvantageous for mass production.

As a result of the assembly of the second positive electrode layer, a positive electrode can be provided without the resistance of the thick positive electrode being increased. In order that an adverse effect, which is caused by heating or cooling, be avoided during the assembly of an electrical supply line material, a gold sphere or a wire connection, the thickness of the positive electrode should preferably amount to more than $0.1\text{ }\mu\text{m}$. Since gold (Au) is a material that is easy to assemble and has superior corrosion resistance, and since it exhibits strong adhesion to the material of an electrical supply line or to a gold sphere or to a wire connection, the use of gold (Au) or an alloy that contains gold (Au) is to be preferred for the assembly of the second positive electrode layer.

The thickness of the second positive electrode layer should preferably be in the range from $0.03\text{ }\mu\text{m}$ to $5\text{ }\mu\text{m}$. If the thickness of the second positive electrode layer amounts to less than $0.03\text{ }\mu\text{m}$, then a sufficient effect cannot be achieved and if the thickness is more than $5\text{ }\mu\text{m}$, too much time is required for the assembly of the electrodes.

If, in addition, the thickness of the second positive electrode layer amounts to more than $5\text{ }\mu\text{m}$, then the thickness of the negative electrode becomes unnecessarily larger for the assembly of an electrical supply line or a gold sphere, whereby this is undesired, in the way in which this is described below in the case of the third example of an embodiment.

As a result of the assembly of the third positive electrode layer ([or] the fourth positive electrode layer in the case of the sixteenth form of embodiment in accordance with the invention) from at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals, flaking off of the insulating layer from the positive electrodes can be prevented if an insulating layer that comprises e.g. silicon oxide (SiO_2), silicon nitride (Si_3N_4), or a polyamide is assembled between the positive and negative electrodes that are assembled on opposite sides of the substrate.

Consequently, the third positive electrode layer can prevent short circuiting by an electrical supply line material during the assembly of an electrical supply line. The thickness of the third positive electrode layer should preferably be in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms. If the thickness of the third positive electrode layer amounts to less than 3 angstroms, then durable adhesion to the insulating layer cannot be achieved and if it amounts to more than 1000 angstroms, durable adhesion cannot be achieved to the materials of the contacts, such as the material of an electrical supply line or a gold sphere, and this is undesirable.

Since the positive electrode with the multi-layer structure as described above exhibits a high reflection factor and a high resistance to moisture, the protective layer can be simplified to some extent. Thus the positive electrode can be connected to an external electrode without the use of a wire connection.

The flip-tip type of light emitting semiconductor device in accordance with the fifteenth form of embodiment of the invention differs from those in accordance with the thirteenth and the fourteenth forms of embodiment of the invention in terms of the components of the second and third positive electrode layers. The semiconductor device in accordance with the fifteenth form of embodiment can provide the same action as that which is shown by the thirteenth and fourteenth embodiment.

The invention will be described in more detail below by means of examples of embodiments with reference being made to the appended drawings. The following aspects are shown:

Fig. 1 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 100 in accordance with the first example of an embodiment of the invention;

Fig. 2 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 200 in accordance with the second example of an embodiment of the invention;

Fig. 3 shows a table for comparing the characteristics of the light emitting flip-tip semiconductor devices 100, 200 and 400 in accordance with the second example of an embodiment of the

invention;

Fig. 4 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 300 in accordance with the third example of an embodiment of the invention;

Fig. 5A shows a table for comparing the luminous intensities of the light emitting semiconductor device 300 and the known light emitting semiconductor device 400 in accordance with the third example of an embodiment of the invention;

Fig. 5B shows a table for comparing the aging-engendered variations in the luminous intensities of the light emitting semiconductor device 500 and the known light emitting semiconductor device 400;

Fig. 6 shows a table of the properties of the metals that are used for the first positive electrode layer in accordance with the third example of an embodiment of the invention;

Fig. 7 shows a sectional view of a known light emitting semiconductor device 400;

Fig. 8 shows a sectional view of a light emitting semiconductor device 150 in accordance with the invention;

Fig. 9 shows a plan view onto a light emitting semiconductor device 500 in accordance with an example of an embodiment of the light emitting semiconductor device 300 that is shown in Fig. 4.

Fig. 10 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 600 in accordance with the fifth example of an embodiment of the invention.

First example of an embodiment

Fig. 1 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 100. The semiconductor device 100 has a sapphire substrate 101 on which a buffer layer 102, which comprises aluminum nitride (AlN) with a thickness of 200 angstroms, and an n^+ -doped layer 103 with a thickness of $4.0\text{ }\mu\text{m}$ and a high charge carrier concentration are sequentially assembled.

In addition, an emitting layer 104, which has a multiple quanta cavity [?] structure (MQW) and which comprises GaN and $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}$, is assembled on the n^+ -doped layer 103. An Mg-doped p-layer 105, which comprises $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ with a thickness of 600 angstroms, is assembled on the emitting layer 104. Furthermore, an Mg-doped p-layer 106, which comprises GaN with a thickness of 1500 angstroms, is assembled on the p-layer 105.

A first thin metal layer 111 is assembled by means of metal deposition on the p-layer 106 and a negative electrode 140 is assembled on the n^+ -doped layer 103. The first thin metal layer 111 is assembled from at least cobalt (Co) and nickel (Ni) with a thickness of approximately 10 angstroms and is arranged to be adjacent to the p-layer 106. A positive electrode (first positive electrode layer) 120 is assembled from at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy, which contains at least one of these elements, with a thickness of approximately 3000 angstroms.

The negative electrode 140 with a multi-layer structure is assembled on a bared section of the n^+ -doped layer 103 with the high charge carrier concentration. The multi-layer structure has the following five layers: an approximately 175 angstrom thick vanadium layer 141 (V); an approximately 1000 angstrom thick aluminum layer 142 (Al); an approximately 500 angstrom thick vanadium layer 143 (V); an approximately 5000 angstrom thick nickel layer 144 (Ni); and an approximately 8000 angstrom thick gold layer 145 (Au). A protective layer 130, which comprises SiO_2 , is assembled on the upper surface.

As described above, the luminous intensity is improved by approximately 10-50% in comparison to the known light emitting semiconductor device 400, which is shown under Nos. 1 and 2 in Fig.

3, when the positive electrode 120 is assembled from at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) and an alloy that contains at least one of these metals.

Second example of an embodiment

Fig. 2 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 200 in accordance with the invention. The semiconductor device 200 differs from that which was described in the case of the first example of an embodiment merely by the assembly of a second thin metal layer 112 on the first thin metal layer 111. The second thin metal layer 112 is assembled from gold (Au) with a thickness of approximately 150 angstroms, whereby it is assembled by means of metal deposition following the assembly of the first thin metal layer 111, namely in the same way as the first thin metal layer 111 from cobalt (Co) or nickel (Ni) with a thickness of 10 angstroms.

The assembly of this second thin metal layer 112 between the first thin metal layer 111 and the positive electrode (first positive electrode layer) 120 permits a more durable connection of the positive electrode 120 to the layer 106.

Fig. 3 shows a table for comparing the characteristics of the light emitting flip-tip semiconductor devices 100, 150, 200 or, respectively, 400. The table in Fig. 3 also shows the characteristics of the light emitting flip-tip semiconductor device (No. 3 or 3.1), which is shown in Fig. 8 and which has a positive electrode 120, which comprises at least silver (Ag) or rhodium (Rh), and which is connected directly to the p-layer 106 without the first thin layer 111 of the first example of an embodiment.

As is shown in this table, the luminous intensity of the semiconductor device 100 or 200 in accordance with the invention that has a positive electrode 120 comprising metal layers with at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy, which contains at least one of these metals, is improved by approximately 10-50% in comparison to the known light emitting semiconductor device 400 that is shown under Nos. 1 and 2 in Fig. 3.

In addition, a first thin metal layer is not formed in the case of the light emitting semiconductor device 400 that is shown under Nos. 1 and 2 since the positive electrode 120 itself is assembled from cobalt (Co) or nickel (Ni) and this ensures adequate adhesion between the positive electrode 120 and the layer 106. The light emitting semiconductor device 400, which is shown under Nos. 1 and 2 in Fig. 3 and which contains the positive electrode 120 comprising cobalt (Co) or nickel (Ni), has a low relative luminous intensity since the reflection factor of the metal elements, which form the positive electrode 120, is low. Consequently, the superiority or the inferiority of the relative luminous intensities that are shown in Fig. 3 is not based on the existence of the first thin metal layer 111.

In the case in which the first or the second thin metal layer 111 or, respectively, 112 does not exist, a high luminous intensity can however be achieved - as can be seen from a comparison of No. 3 to Nos. 4 and 8 in Fig. 3 - if the positive electrode 120 is assembled from at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy that contains at least one of these elements. The luminous intensity exhibits an excellent value although the adhesion between the positive electrode 120 and the layer 106 is lower to a certain extent. This is due to the absence of the first and second thin metal layers 111 and, respectively, 112 that absorb light.

As is shown in Fig. 8, the light emitting semiconductor device 150, in particular, can exhibit approximately the same luminous intensity as the light emitting semiconductor device that is listed under No. 8 if, in the case of the light emitting semiconductor device 150, the positive layer 120 is assembled from rhodium (Rh), approximately 3000 angstroms thick, directly on a p-doped GaN layer 106 without the assembly of the first or the second thin metal layer, whereby the properties of the light emitting semiconductor device 150 are listed under No. 3.1 in Fig. 3. Moreover, identical or even more durable adhesion to the GaN layer can be achieved in this way as well. These circumstances are brought about by the high reflection factor of rhodium (Rh) and the strong adhesion of rhodium (Rh) to the GaN layer 106 in the case of the light emitting semiconductor device 150. In regard to these points, consequently, the light emitting semiconductor device 150, which is listed under No. 3.1, is superior to the light emitting semiconductor device 100 that is listed under No. 5 in Fig. 3.

Stated briefly, the manufacture of the light emitting semiconductor device 150 in accordance with No. 3.1 in Fig. 3 signifies being capable of providing a light emitting semiconductor device with adequate properties in terms of luminous intensity and adhesion since the properties of rhodium (Rh) permit assembly without the first or second thin metal layer. Thus an adequate level of mass production can be achieved because an assembling process for the first or second thin metal layer is not required for the light emitting semiconductor device 150.

In the case of this example of an embodiment, the positive electrode 120, which is shown in Figs. 1, 2 and 8, has a thickness of approximately 3000 angstroms. The thickness of the electrode can optionally be in the range from 100 angstroms to 5 μm . The reflection factor for light becomes inadequate if the thickness of the positive electrode 120 amounts to less than 100 angstroms. If the thickness amounts to more than 5 μm , then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of this example of an embodiment, the first thin metal layer 111 has a thickness of approximately 10 angstroms. The thickness of the first thin metal layer 111 can optionally be in the range from 2 angstroms to 200 angstroms. The thickness of the first thin metal layer 111 should, more preferably, be in the range from 5 angstroms to 50 angstroms. The binding action of the positive electrode 120 to the GaN layer 106 is weakened if the thickness of the first thin metal layer 111 is too little; if it is too great, then light absorption occurs in it and the luminous intensity is decreased.

In the case of this example of an embodiment, the second thin metal layer 112 has a thickness of approximately 150 angstroms. The thickness of the second thin metal layer 112 can optionally be in the range from 10 angstroms to 500 angstroms. The thickness of the second thin metal layer 112 should, more preferably, be in the range from 30 angstroms to 300 angstroms. The binding action of the positive electrode 120 to the first thin metal layer 111 is weakened if the thickness of the second thin metal layer 112 is too little and, if it is too great, light absorption occurs in it and the luminous intensity is decreased.

In the case of this example of an embodiment, the positive electrode 120 has a single layer structure. The positive electrode 120 can optionally have a multi-layer structure. The $1.4\text{ }\mu\text{m}$ thick positive electrode can be assembled by means of the sequential deposition of e.g. approximately 5000 angstroms of silver (Ag), approximately 800 angstroms of nickel (Ni) and approximately 8000 angstroms of gold (Au) on the GaN layer 106, the first thin metal layer 111 or the second thin metal layer 112. A light emitting semiconductor device with an adequately high reflection factor and an adequately high radiation output can be achieved by means of a positive electrode with this multi-layer structure.

Third example of an embodiment

Fig. 4 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 300. The semiconductor has a sapphire substrate 101 on which the following have been assembled sequentially: a buffer layer 102 comprising aluminum nitride (AlN) with a thickness of 200 angstroms and an n^+ -doped layer 103 with a thickness of $4.0\text{ }\mu\text{m}$ and a high charge carrier concentration.

In addition, an emitting layer 104, which has a multiple quanta cavity [?] structure (MQW) comprising GaN and $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}$, is assembled on the n^+ -doped layer 103. An Mg-doped p-layer 105 comprising $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ with a thickness of 600 angstroms is assembled on the emitting layer 104. Furthermore, an Mg-doped p-layer 106 comprising GaN with a thickness of 1500 angstroms is assembled on the p-layer 105.

A positive electrode 120, which can also be termed a positive multiple electrode 120 in the text below, is assembled, by means of a metal deposition process, on the p-layer 106 and a negative electrode 140 is assembled on the n^+ -doped layer 103. The positive multiple electrode 120 is assembled in the form of a triple layer structure with a first positive electrode layer 121 that is adjacent to the p-layer 106, and a second positive electrode layer 122 that is assembled on the first positive electrode layer 121, and a third positive electrode layer 123 that is assembled on the second positive electrode layer 122.

The first positive electrode layer 121 is a metal layer that is adjacent to the p-layer 106 and is assembled from rhodium (Rh) with a thickness of approximately $0.1\text{ }\mu\text{m}$. The second positive electrode layer 122 is a metal layer comprising gold (Au) with a thickness of approximately $1.2\text{ }\mu\text{m}$. The third positive electrode layer 123 is a metal layer comprising titanium (Ti) with a thickness of approximately 20 angstroms.

A negative electrode 140 with a multi-layer structure is assembled on a bared section of the n^+ -doped layer 103 with the high concentration of charge carriers. The multi-layer structure has the following five layers: an approximately 175 angstrom thick vanadium layer 141 (V); an approximately 1000 angstrom thick aluminum layer 142 (Al); an approximately 500 angstrom thick vanadium layer 143 (V); an approximately 5000 angstrom thick nickel layer 144 (Ni); and an approximately 8000 angstrom thick gold layer 145 (Au).

A protective layer 130 comprising an SiO_2 layer is assembled between the positive multiple electrode 120 and the negative electrode 140. The protective layer 130 covers a section of the n^+ -doped layer 103, which is bared for the assembly of the negative electrode 140, and the sides of the emitting layer 104 and of the p-layer 105 and of the p-layer 106, which is bared by means of etching, and a section of the upper surface of the p-layer 106, the sides of the first positive electrode layer 121, of the second positive electrode layer 122 and of the third positive electrode layer 123, and a section of an upper surface of the third positive electrode 123. The thickness of the protective layer 130, which covers a section of the upper surface of the third positive electrode layer 123, amounts to $0.5\text{ }\mu\text{m}$.

Fig. 5A shows a table for comparing the luminous intensities of the light emitting semiconductor device, which has been described above, to those of the known light emitting semiconductor device 400. In accordance with the invention, the radiation output can be improved by approximately 30-40% relative to the prior art, as is shown in Fig. 5A,

Since the structure of the light emitting flip-tip semiconductor device 300 permits its high

luminous intensity and reliability, the protective layer 130 can be omitted over a considerable surface area and the positive and negative electrode can both use a more extended surface area for connection to an external electrode. As a result of the direct assembly of an electrical supply line, by means of a soldering metal or a gold sphere, on the positive and the negative electrode, the light emitting semiconductor device 300 is inverted and can be connected directly to a circuit board.

In addition, the light emitting semiconductor device 300 can also be connected to an external electrode by means of a wire connection.

In the case of the third example of an embodiment, the positive multiple electrode 120 has a thickness of approximately $1.3\ \mu\text{m}$. The thickness of the positive multiple electrode 120 can optionally be in the range from $0.11\ \mu\text{m}$ to $10\ \mu\text{m}$. If the thickness of the positive multiple electrode 120 is less than $0.11\ \mu\text{m}$, then the reflection factor for light becomes inadequate and durable adhesion to connecting materials, such as an electrical supply line, a gold sphere etc., cannot be achieved. If, however, the thickness of the positive multiple electrode 120 is more than $10\ \mu\text{m}$, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the third example of an embodiment, the first positive electrode layer 121 has a thickness of approximately $0.1\ \mu\text{m}$. The thickness of the first positive electrode layer 121 can optionally be in the range from $0.01\ \mu\text{m}$ to $5\ \mu\text{m}$. The thickness of the first positive electrode layer 121 should, more preferably, be in the range from $0.05\ \mu\text{m}$ to $1\ \mu\text{m}$. If the thickness of the first positive electrode layer 121 is too little, then the reflection factor for light is inadequate but if it too great, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the third example of an embodiment, the second positive electrode layer 122 has a thickness of approximately $1.2\ \mu\text{m}$. The thickness of the second positive electrode layer 122 can optionally be in the range from $0.03\ \mu\text{m}$ to $5\ \mu\text{m}$. The thickness of the second positive electrode layer 122 should preferably be in the range from $0.1\ \mu\text{m}$ to $5\ \mu\text{m}$ or, more preferably, in the range

from 0.2 μm to 3 μm or, still more preferably, in the range from 0.5 μm to 2 μm . If the thickness of the second positive electrode layer 122 is too little, then durable adhesion to connecting materials, such as an electrical supply line, a gold sphere etc., cannot be achieved. If, however, its thickness is too great, then too much time and material are required for deposition and, because of this, the thickness is unusable, in light of cost sensitive manufacturing characteristics, for both the second positive electrode layer 122 and the negative electrode 140

In the case of the third example of an embodiment, the third positive electrode layer 123 has a thickness of approximately 20 angstroms. The thickness of the third positive electrode layer 123 can optionally be in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms. The thickness of the third positive electrode layer 123 should preferably be in the range from 5 angstroms to 1000 angstroms or, more preferably, in the range from 10 angstroms to 500 angstroms or, still more preferably, in the range from 15 angstroms to 100 angstroms. If the thickness of the third positive electrode layer 123 is too little, then adhesion to the protective layer 130 is weakened and, if it is too great, the resistance is too high.

In the case of the third example of an embodiment, the third positive electrode layer 123 comprises titanium (Ti). The third positive electrode layer 123 can optionally be assembled from titanium (Ti) or chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals.

Fig. 6 shows a table of the properties of the metals that are used for the first positive electrode layer 121. The points (1) through (6) for evaluation have the following meanings:

- (1) REFLECTION FACTOR: the degree of being able to reflect visible rays (violet, blue and green), whose wavelength is in the range from 380 nm through 550 nm, when a certain quantity of light is emitted by the emitting layer 104;
- (2) CONTACT RESISTANCE (TRIGGERING POTENTIAL): the magnitude of the triggering potential for the light emitting semiconductor device in conjunction with the contact resistance of the GaN layer;

- (3) **ADHESION OF THE GaN LAYER:** a measure of the frequency of the occurrence of a defect that is ascertained by means of a predetermined stress test;
- (4) **CORROSION RESISTANCE:** an evaluation via the properties of each metal;
- (5) **STABILITY OF THE PROPERTIES AFTER THE ASSEMBLY OF Au [ELECTRODES OF DEFINED TYPES]:** an evaluation of the increase in the triggering potential with time after the second positive electrode layer 122, which comprises gold, has been assembled in the case of the light emitting semiconductor device 300, and the decrease in the reflection factor for visible rays;
- (6) **OVERALL EVALUATION (MASS PRODUCTION):** an overall evaluation on the basis of points (1) through (5), which have been described above, in regard to the mass production of the light emitting semiconductor device in accordance with the invention.

The evaluations, in terms of points (1) and (2), for mass production of the light emitting semiconductor device should turn out to be better than "GOOD", especially in regard to the flip-tip type of assembly for a light emitting semiconductor device. Consequently, the listing that is shown in Fig. 6 indicates the usability of the device.

Although rhodium (Rh) is slightly inferior to silver (Ag) in regard to its reflection factor ((1)), it shows identical or superior properties in terms of points (2) through (5) in comparison to the other metals. Thus rhodium is demonstrably one of the best metals for the assembly of the positive electrode or, respectively, the first positive electrode layer.

In addition, ruthenium (Ru) exhibits similar or almost identical properties to those of rhodium (Rh). Thus it is also demonstrably one of the best metals for the assembly of the positive electrode or, respectively, the first positive electrode layer.

Fourth example of an embodiment

Fig. 9 shows a plan view onto a light emitting semiconductor device 500 [words omitted] an example of an embodiment of the light emitting semiconductor device 300 that is shown in Fig. 4. Since the light emitting semiconductor device 500 has virtually the same structure as the light emitting semiconductor device 300, all the layers are designated by the same reference numbers and the same metals are used for them as are used for the layers that are shown in Fig. 4.

The aging-engendered variations in the luminous intensity of the light emitting semiconductor device 500 were then measured. Fig. 5B shows a table for comparing the aging-engendered variations in the luminous intensities of the light emitting semiconductor device 500 and the known light emitting semiconductor device 400. As Fig. 5B shows, 95% of the initial value of the luminous intensity can be maintained after 100 h in accordance with the invention and 90% after 1000 h, whereas in the case of the light emitting semiconductor device 400, only 90% of the initial value of the luminous intensity can be maintained after 100 h and only 85% after 1000 h. Consequently, in accordance with the invention, reliability can be improved in comparison to the known light emitting semiconductor device 400.

Since the structure of the light emitting flip-tip semiconductor device 500 permits its high luminous intensity and reliability, the protective layer 130 can be omitted over a considerable surface area and the positive and negative electrode can both use a more extended surface area for the connection to an external electrode. As is shown in Fig. 9, the negative electrode and the positive electrode can take up more than 10% or, respectively, more than 40% of the upper surface area of the light emitting semiconductor device 500. Because of this, the connection to an external electrode cannot be [translator: does not need to be?] restricted to a wire connection. The electrodes can optionally be connected to an external electrode as a result of the direct assembly of an electrical supply line, via soldering metal or a gold sphere, on the positive and the negative electrode or the light emitting semiconductor device 500 is inverted and can be connected directly to a circuit board.

In the case of the fourth example of an embodiment, the positive multiple electrode 120 has a

thickness of approximately 1.5 μm . The thickness of the positive multiple electrode 120 can optionally be in the range from 0.11 μm to 10 μm . If the thickness of the positive multiple electrode 120 is less than 0.11 μm , then the reflection factor for light becomes inadequate and durable adhesion to connecting materials, such as an electrical supply line, a gold sphere etc., cannot be achieved. If, however, the thickness of the positive multiple electrode 120 amounts to more than 10 μm , then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the fourth example of an embodiment, the first positive electrode layer 121 has a thickness of approximately 0.3 μm . The thickness of the first positive electrode layer 121 can optionally be in the range from 0.01 μm to 5 μm . The thickness of the first positive electrode layer 121 should, more preferably, be in the range from 0.05 μm to 1 μm . If the thickness of the first positive electrode layer 121 is too little, then the reflection factor for light becomes inadequate but if it too great, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the fourth example of an embodiment, the second positive electrode layer 122 has a thickness of approximately 1.2 μm . The thickness of the second positive electrode layer 122 can optionally be in the range from 0.03 μm to 5 μm . The thickness of the second positive electrode layer 122 should preferably be in the range from 0.05 μm to 3 μm or, respectively, in the range from 0.1 μm to 5 μm or, more preferably, in the range from 0.2 μm to 3 μm or, still more preferably, in the range from 0.5 μm to 2 μm . If the thickness of the second positive electrode layer 122 is too little, then durable adhesion to connecting materials such as an electrical supply line, a gold sphere etc. cannot be achieved. If, however, its thickness is too great, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable both for the second positive electrode layer 122 and the negative electrode 140 in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the fourth example of an embodiment, the third positive electrode layer 123 has a

thickness of approximately 20 angstroms. The thickness of the third positive electrode layer 123 can optionally be in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms. The thickness of the third positive electrode layer 123 should preferably be in the range from 5 angstroms to 1000 angstroms or, more preferably, in the range from 10 angstroms to 500 angstroms or, still more preferably, in the range from 15 angstroms to 100 angstroms. If the thickness of the third positive electrode layer 123 is too little, then adhesion to the protective layer 130 is weakened and if it is too great, the resistance becomes too high.

In the case of the fourth example of an embodiment, the third positive electrode layer 123 comprises titanium (Ti). The third positive electrode layer 123 can optionally be assembled from chromium (Cr).

Fifth example of an embodiment

Fig. 10 shows a sectional view of a light emitting flip-tip semiconductor device 600. The semiconductor device 600 has a sapphire substrate 101 on which a buffer layer 102 comprising aluminum nitride (AlN) with a thickness of 200 angstroms and a n^+ -doped layer 103 with a thickness of 4.0 μm and a high charge carrier concentration are sequentially assembled.

In addition, an emitting layer 104, which has a multiple quanta cavity [?] structure (MQW) comprising GaN and $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}$, is assembled on the n^+ -doped layer 103. An Mg-doped p-layer 105 comprising $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ with a thickness of 600 angstroms is assembled on the emitting layer 104. Furthermore, an Mg-doped p-layer 106 comprising GaN with a thickness of 1500 angstroms is assembled on the p-layer 105.

A positive electrode 120, which can also be termed a positive multiple electrode 120 in the text below, is assembled by means of a metal deposition process on the p-layer 106, and a negative electrode 140 is assembled on the n^+ -doped layer 103. The positive multiple electrode 120 is assembled in the form of a triple layer structure with a first positive electrode layer 121 that is adjacent to the p-layer 106, and a second positive electrode layer 122 that is assembled on the first positive electrode layer 121, and a third positive electrode layer 123 that is assembled on the

second positive electrode layer 122.

The first positive electrode layer 121 is a metal layer, which is assembled from rhodium (Rh) with a thickness of approximately 3000 angstroms, that is adjacent to the p-layer 106. The second positive electrode layer 122 is a metal layer comprising titanium (Ti) with a thickness of approximately 100 angstroms. The third positive electrode layer 123 is a metal layer comprising gold (Au) with a thickness of approximately 500 angstroms.

A negative electrode 140 with a multi-layer structure is assembled on a bared section of the n^+ -doped layer 103 with the high concentration of charge carriers. The multi-layer structure has the following five layers: an approximately 175 angstrom thick vanadium layer 141 (V); an approximately 1000 angstrom thick aluminum layer 142 (Al); an approximately 500 angstrom thick vanadium layer 143 (V); an approximately 5000 angstrom thick nickel layer 144 (Ni); and an approximately 8000 angstrom thick gold layer 145 (Au).

A protective layer 130 comprising an SiO_2 layer is assembled between the positive multiple electrode 120 and the negative electrode 140. The protective layer 130 covers a section of the n^+ -doped layer 103, which is bared for the assembly of the negative electrode 140, and the sides of the emitting layer 104 and of the p-layer 105 and of the p-layer 106, which is bared by means of etching, and a section of the upper surface of the p-layer 106, the sides of the first positive electrode layer 121, of the second positive electrode layer 122 and of the third positive electrode layer 123, and a section of an upper surface of the third positive electrode layer 123. The thickness of the protective layer 130, which covers a section of the upper surface of the third positive electrode layer 123, amounts to 0.5 μm .

The radiation output can be improved, relative to the prior art, by approximately 30-40% in accordance with the invention.

Since the structure of the light emitting flip-tip semiconductor device 600 permits its high luminous intensity and reliability, the protective layer 130 can be omitted over a considerable surface area and the positive and negative electrode can both use a more extended surface area

for the connection to an external electrode. As a result of the direct assembly of an electrical supply line, by means of a soldering metal or a gold sphere, on the positive and the negative electrode, the light emitting semiconductor device 600 is inverted and can be connected directly to a circuit board.

In addition, the light emitting semiconductor device 600 can also be connected to an external electrode via a wire connection.

In the case of the fifth example of an embodiment, the positive multiple electrode 120 has a thickness of approximately $0.36\text{ }\mu\text{m}$. The thickness of the positive multiple electrode 120 can optionally be in the range from $0.11\text{ }\mu\text{m}$ to $10\text{ }\mu\text{m}$. If the thickness of the positive multiple electrode 120 is less than $0.11\text{ }\mu\text{m}$, then the reflection factor for light becomes inadequate and durable adhesion to connecting materials, such as an electrical supply line, a gold sphere etc., cannot be achieved. If, however, the thickness of the positive multiple electrode 120 amounts to more than $10\text{ }\mu\text{m}$, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the fifth example of an embodiment, the first positive electrode layer 121 has a thickness of approximately 3000 angstroms. The thickness of the first positive electrode layer 121 can optionally be in the range from $0.01\text{ }\mu\text{m}$ to $5\text{ }\mu\text{m}$. The thickness of the first positive electrode layer 121 should, more preferably, be in the range from $0.05\text{ }\mu\text{m}$ to $1\text{ }\mu\text{m}$. If the thickness of the first positive electrode layer 121 is too little, then the reflection factor for light becomes inadequate but if it too great, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable in light of cost sensitive manufacturing characteristics.

In the case of the fifth example of an embodiment, the second positive electrode layer 122 has a thickness of approximately 100 angstroms. The thickness of the second positive electrode layer 122 can optionally be in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms. The thickness of the second positive electrode layer 122 should preferably be in the range from 5 angstroms to 1000 angstroms or, more preferably, in the range from 5 angstroms to 500 angstroms or, still more

preferably, in the range from 15 angstroms to 100 angstroms. If the thickness of the second positive electrode layer 122 is too little, then durable adhesion to connecting materials, such as an electrical supply line, a gold sphere etc., cannot be achieved. If, however, its thickness is too great, then too much time and material are required for deposition and, because of this, this thickness is unusable, in light of cost sensitive manufacturing characteristics, both for the second positive electrode layer 122 and the negative electrode 140.

In the case of the fifth example of an embodiment, the third positive electrode layer 123 has a thickness of approximately 500 angstroms. The thickness of the third positive electrode layer 123 can optionally be in the range from 0.03 μm to 5 μm . The thickness of the third positive electrode layer 123 should preferably be in the range from 0.05 μm to 3 μm or, respectively, 0.1 μm to 5 μm or, more preferably, in the range from 0.2 μm to 3 μm or, still more preferably, in the range from 0.5 μm to 2 μm . If the thickness of the third positive electrode layer 123 is too little, then adhesion to the protective layer 130 is weakened and if it is too great, the resistance becomes too high.

In the case of the fifth example of an embodiment, the third positive electrode layer 123 comprises gold (Au). A fourth positive electrode layer 124 can optionally be assembled from titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy, which contains at least one of these metals, on the third positive electrode layer 123 via the breadth of the third positive electrode layer in accordance with the third example of an embodiment.

In regard to the structure of the layers for the electrodes in the case of the first through to the fifth example of an embodiment, the physical and chemical composition of each layer in the light emitting semiconductor device is quoted at the point in time of its deposition. It is not necessary to point out that solid solutions or chemical compounds are formed between all layers via physical or chemical treatments, such as a heat treatment, in order to achieve more durable adhesion or to decrease contact resistance.

In the case of the first through to the fifth example of an embodiment, the emitting layer 104 has

a MQW structure (multiple quanta cavity [?]). The emitting layer 104 can optionally have a SQW structure (single quantum cavity [?]) or a homozygotic or, as the case may be, a homogeneous structure. Moreover, a Group III nitride compound semiconductor layer (including a buffer layer) of the light emitting semiconductor device can be assembled from a quaternary, ternary or binary layer compound $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1.0 \leq y \leq 1.0 \leq x + y \leq 1$)

Metal nitrides, such as titanium nitride (TiN) and hafnium nitride (HfN), or metal oxides, such as zinc oxide (ZnO), magnesium oxide (MgO) and manganese oxide (MnO), can be used for the assembly of the buffer layer.

Use is made of magnesium (Mg) as the p-doping [material] in the examples of embodiments. Use can optionally be made of Group II elements, such as beryllium (Be) or zinc (Zn). In addition, active treatments, such as irradiation with electron beams or a curing process, can be carried out in order to decrease the resistance of the p-doped semiconductor layer.

In the case of these examples of embodiments, the n^+ -doped layer 103 is of a high charge carrier density comprising Si-doped gallium nitride (GaN). These n-doped semiconductor layers can optionally be assembled by doping the Group III element nitride compound semiconductor, which has been described above, with Group IV elements, such as silicon (Si) or germanium (Ge), or with Group VI elements.

Use is made of sapphire for the substrate in the examples of embodiments. Use can optionally be made of silicon carbide (SiC), zinc oxide (ZnO), magnesium oxide (MgO) or manganese oxide (MnO) for the assembly of the substrate.

As has been described above, a light emitting flip-tip semiconductor device 100, 200, 300, 150, 500, 600 in accordance with the invention with nitride compounds of Group III elements has a thick positive electrode 120. The positive electrode 120, which comprises at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy that contains at least one of these metals, is arranged to be adjacent to a p-doped semiconductor layer 106 and reflects light toward a sapphire substrate 101. Consequently, a positive electrode 120 with a high reflection

factor and a low contact resistance can be achieved. A first thin metal layer 111 that comprises cobalt (Co) and nickel (Ni) or any desired compound, which contains at least one of these metals, and that is assembled between the p-doped semiconductor layer 106 and the thick electrode 120 is capable of improving the adhesion between a contact layer and the thick positive electrode 120. The thickness of the first thin layer metal electrode 111 should preferably be in the range from 2 to 200 angstroms or, more preferably, in the range from 5 to 50 angstroms. A second thin metal layer 112, which comprises gold (Au), is capable of improving the adhesion still further.

Whereas the invention has been described in conjunction with the examples of embodiments that are currently regarded as being the most practical and the most preferred, the invention should not be regarded as being restricted to the examples of embodiments that have been disclosed but, by contrast, the intention is to cover many different modifications and equivalent arrangements within the area of the patent claims in the section below.

Patent claims

1. Light emitting flip-tip semiconductor device (100; 200; 300; 150; 500; 600) with a substrate (101);
Group III element nitride compound semiconductor layers (102, 103, 104, 105, 106) that are assembled on the substrate (101); and
a positive electrode (120) that contains at least one layer that comprises a first positive electrode layer (120, 121) that is assembled on or above a p-doped semiconductor layer (106) and reflects light toward the substrate (101), whereby the first positive electrode layer (120; 121) is assembled from at least silver (Ag), rhodium (Rh), ruthenium (Ru), platinum (Pt), palladium (Pd) or an alloy that contains at least one of these metals.
2. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 1, whereby the positive electrode layer (120) has a multi-layer structure comprising many types of metals.
3. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III

elements in accordance with Claim 1, additionally with a first thin metal layer (111), which is assembled from at least cobalt (Co), nickel (Ni) or an alloy that contains at least one of these metals, between the p-doped semiconductor layer (106) and the first positive electrode layer (120).

4. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 2, additionally with a first thin metal layer (111), which is assembled from at least cobalt (Co), nickel (Ni) or an alloy that contains at least one of these metals, between the p-doped semiconductor layer (106) and the first positive electrode layer (120).

5. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claims 3 and 4, whereby the thickness of the first thin metal layer (111) is in the range from 2 angstroms to 200 angstroms.

6. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claims 3 and 4, additionally with a second thin metal layer (112), which is assembled from at least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au), between the first thin metal layer (111) and the first positive electrode layer (120).

7. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 6, whereby the thickness of the second thin metal layer (112) is in the range from 10 angstroms to 500 angstroms.

8. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 1, whereby the thickness of the first positive electrode layer (121) is in the range from 0.01 μm to 5 μm .

9. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 1, whereby the positive electrode (120) additionally has a

second positive electrode layer (122), which is assembled from at least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au), on the first positive electrode layer (121).

10. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 9, whereby the thickness of the second positive electrode layer (122) is in the range from 0.03 μm to 5 μm .

11. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claims 1 and 9, whereby the positive electrode (120) additionally has a third positive electrode layer (123), which is assembled from at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy that contains at least one of these metals, on the second positive electrode layer.

12. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 11, whereby the thickness of the third positive electrode layer (123) is in the range from 3 angstroms to 1000 angstroms.

13. Light emitting flip-tip semiconductor device with
a substrate;

Group III element nitride compound semiconductor layers that are assembled on the substrate;
and

a positive electrode that is assembled on or above a p-doped semiconductor layer and reflects light toward the substrate, whereby the positive electrode has a triple layer structure with
a first positive electrode layer that is assembled from at least rhodium (Rh), ruthenium (Ru) or an alloy that contains at least one of these metals;

a second positive electrode layer that is assembled from at least gold (Au) or an alloy, which contains gold (Au), directly on the first positive electrode layer;

a third positive electrode layer that is assembled from at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy, which contains at least one of these metals, directly on the second positive electrode layer.

14. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III

elements in accordance with Claim 13, whereby the thicknesses of the first, second and third positive electrode layers are in the range from 0.02 μm to 2 μm or, respectively, 0.05 μm to 3 μm or, respectively, 5 angstroms to 500 angstroms.

15. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 13, additionally with a first thin metal layer, which is assembled from at least cobalt (Co), nickel (Ni) or an alloy that contains at least one of these metals, between the p-doped semiconductor layer and the first positive electrode layer.

16. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 13, additionally with a second thin metal layer, which is assembled from at least gold (Au) or an alloy that contains gold (Au), between the first thin metal layer and the first positive electrode layer.

17. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 13, whereby an insulating protective layer (130), which comprises silicon dioxide (SiO_2), silicon nitride (Si_xN_y), a titanium compound (Ti_xN_y , etc.) or a polyamide, is assembled directly on the third positive electrode layer (123).

18. Light emitting flip-tip semiconductor device with
a substrate;

Group III element nitride compound semiconductor layers that are assembled on the substrate;
and

a positive electrode that is assembled on or above a p-doped semiconductor layer and reflects light toward the substrate, whereby the positive electrode has a triple layer structure with
a first positive electrode layer that is assembled from at least rhodium (Rh), ruthenium (Ru) or an alloy that contains at least one of these metals;

a second positive electrode layer that is assembled from at least titanium (Ti), chromium (Cr) or an alloy, which contains at least one of these metals, directly on the first positive electrode layer;
and

a third positive electrode layer that is assembled from at least gold (Au) or an alloy, which

contains gold (Au), directly on the second positive electrode layer.

19. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 18, whereby the thicknesses of the first, second and third positive electrode layers are, respectively, in the range from 0.02 μm to 2 μm , 5 angstroms to 500 angstroms and 0.05 μm to 3 μm .

20. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claim 18, additionally with a fourth positive electrode layer that is assembled from at least titanium (Ti) or chromium (Cr) or an alloy, which contains at least one of these metals, directly on the third positive electrode layer.

21. Light emitting flip-tip semiconductor device with nitride compounds of Group III elements in accordance with Claims 18 and 20, whereby an insulating protective layer, which comprises silicon dioxide (SiO_2), silicon nitride (Si_xN_y), a titanium compound (Ti_xN_y , etc.) or a polyamide, is assembled directly on the third positive electrode layer or, respectively the fourth positive electrode layer.

DRAWINGS PAGE 1

Number:

DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶:

H 01 L 33/00

DRAWINGS PAGE 3

Number: DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶: H 01 L 33/00

Date laid open to

✓ public inspection: November 18, 1999

FIG. 3

[table]

- 2 TECHNOLOGY CLASSIFICATION
- 3 STRUCTURE
- 4 POSITIVE ELECTRODE
- 5 FIRST THIN METAL LAYER
- 6 SECOND THIN METAL LAYER
- 7 RELATIVE LUMINOUS INTENSITY
- 8 ADHESION
- 9 PRIOR ART
- 10 LIGHT EMITTING DEVICE 400
- 11 INVENTION
- 12 LIGHT EMITTING DEVICE 150
- 13 LIGHT EMITTING DEVICE 100
- 14 LIGHT EMITTING DEVICE 200
- 15 EXCELLENT
- 16 GOOD
- 17 LESS THAN GOOD, BUT USABLE

DRAWINGS PAGE 4

Number:

DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶:

H 01 L 33/00

Date laid open to

✓ public inspection:

November 18, 1999

FIG. 4

[diagram]

REFLECTED LIGHT

DRAWINGS PAGE 5

Number: DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶: H 01 L 33/00Date laid open to
public inspection: November 18, 1999

FIG. 5A

PRIOR ART		100
INVENTION	Pt	160
	Rh	190

FIG. 5B

	INITIAL LUMINOUS INTENSITY	100 h LATER	1000 h LATER
PRIOR ART	100	80	70
INVENTION	100	95	90

DRAWINGS PAGE 6

Number: DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶: H 01 L 33/00

Date laid open to

public inspection: November 18, 1999

FIG. 6

[table]

1 METAL

- 2 POINTS FOR EVALUATION [i.e. the points or attributes as defined in the text]
- 3 EXCELLENT
- 4 GOOD [symbol = "O"]
- 5 MODERATE
- 6 BAD
- 7 BETTER THAN "O" [i.e. better than good]
- 8 WORSE THAN "O" [i.e. worse than good]

DRAWINGS PAGE 7

Number: DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶: H 01 L 33/00

Date laid open to

✓ public inspection: November 18, 1999

FIG. 7

PRIOR ART

[diagram]

REFLECTED LIGHT

DRAWINGS PAGE 8

Number: DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶: H 01 L 33/00

Date laid open to
public inspection: November 18, 1999

FIG. 8

[diagram]

REFLECTED LIGHT

DRAWINGS PAGE 9

Number:

DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶:

H 01 L 33/00

Date laid open to

✓ public inspection:

November 18, 1999

FIG. 9

[diagram]

DRAWINGS PAGE 10

Number: DE 199 21 987 A1

Int. Cl.⁶: H 01 L 33/00

Date laid open to
public inspection: November 18, 1999

FIG. 10

[diagram]

REFLECTED LIGHT

THIS PAGE BLANK (USPTO)